



TUGAS AKHIR - TJ141502

**PENENTUAN ABNORMALITAS PERGERAKAN
SPERMATOZOA BERBASIS ALGORITMA
*MATCHING-BASED***

Ardhi Rizal Fathurrahman
NRP 2913 100 021

Dosen Pembimbing
Dr. I Ketut Eddy Purnama, ST., MT.
Dr. Supeno Mardi Susiki Nugroho, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK KOMPUTER
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

[Halaman ini sengaja dikosongkan].



FINAL PROJECT - TJ141502

***DETERMINATION OF SPERM MOTILITY
ABNORMALITIES BASED ON MATCHING BASED
ALGORITHM***

Ardhi Rizal Fathurrahman
NRP 2913 100 021

Advisor
Dr. I Ketut Eddy Purnama, ST., MT.
Dr. Supeno Mardi Susiki Nugroho, ST., MT.

Departement of Computer Engineering
Faculty of Industrial Electrical
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017

[Halaman ini sengaja dikosongkan].

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **“Penentuan Abnormalitas Pergerakan Spermatozoa Berbasis Algoritma Matching Based”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2017



Ardhi Rizal Fathurrahman

NRP. 2913100021

[Halaman ini sengaja dikosongkan].

LEMBAR PENGESAHAN

Penentuan Abnormalitas Pergerakan Spermatozoa Berbasis Algoritma Matching Based

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh : Ardhi Rizal Fathurrahman (NRP: 2913100021)

Tanggal Ujian : 12 Juli 2017

Periode Wisuda : September 2017

Disetujui oleh:

Dr. I Ketut Eddy Purnama, S.T., M.T.
NIP: 196907301995121001

(Pembimbing I)

Supeno Mardi Susiki Nugroho, ST., M.T.
NIP: 197003131995121001

(Pembimbing II)

Mochamad Hariadi, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP: 196912091997031002

(Penguji I)

Dr. Adhi Dharma Wibawa, ST., MT.
NIP: 197605052008121003

(Penguji II)

Muhtadin, ST., M.Sc.
NIP: 198106092009121003

(Penguji III)

Mengetahui
Kepala Departemen Teknik Komputer

Dr. I Ketut Eddy Purnama, S.T., M.T.
NIP. 196907301995121001

[Halaman ini sengaja dikosongkan].

ABSTRAK

Nama Mahasiswa : Ardhi Rizal Fathurrahman
Judul Tugas Akhir : Penentuan abnormalitas pergerakan spermatozoa berbasis algoritma *matching-based*
Pembimbing : 1. Dr. I Ketut Eddy Purnama, ST., MT.
2. Dr. Supeno Mardi Susiki N., ST., MT.

Analisis sperma merupakan langkah awal pemeriksaan yang dilakukan untuk dapat mengetahui kasus infertilitas sapi. Salah satu usaha yang dilakukan dalam analisis sperma ini adalah melihat pergerakan spermatozoa. Analisis yang dilakukan saat ini masih mempunyai beberapa kelemahan antaranya membutuhkan waktu lama dan hasilnya beragam. Terkait dengan harga peralatan analisis yang dilakukan saat ini menggunakan peralatan yang harganya mahal. Oleh karena itu dalam penelitian ini dibuat sistem yang dapat melakukan perekaman semen, semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen sapi. Kemudian dilakukan penentuan abnormalitas pergerakan berbasis algoritma *matching-based* pada spermatozoa dalam semen, dari lintasan yang terbentuk dianalisa normal tidaknya pergerakan sperma dalam semen. Pada video dengan perbedaan kecepatan perakaman diperoleh akurasi terbesar pada video 30 fps dengan rata-rata nilai penjejakan 90% dan penentuan abnormalitasnya 87%. Sedang pada video 15 fps rata-rata akurasi penjejakannya adalah 89% dan penentuan abnormalitasnya 85%. Untuk video dengan perbedaan pengenceran diperoleh nilai akurasi terbesar pada video pengenceran 1:10 dengan rata-rata nilai penjejakan 89% dan penentuan abnormalitasnya 85%. Sedang pada video pengenceran 1:5 rata-rata akurasi penjejakannya adalah 74% dan penentuan abnormalitasnya 66%. Dengan demikian algoritma *matching-based* dapat digunakan untuk melakukan penjejakan dan penentuan abnormalitas pergerakan sperma sapi.

Kata Kunci : Spermatozoa, Penjejakan sperma, Matching-based, Analisa sperma

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRACT

Name : Ardhi Rizal Fathurrahman
Title : *Determination of abnormalities in sperm motility based on matching-based algorithm*
Advisors : 1. Dr. I Ketut Eddy Purnama, ST., MT.
2. Dr. Supeno Mardi Susiki N., ST., MT.

Sperm analysis is the preliminary step of the examination conducted to be able to know the case of bull infertility. One of the effort for this sperm analysis is to look at the sperm motion. The current analysis still has some disadvantages such as took a long time and the results vary. Associated with the price of the current analysis equipment using tools that are expensive. Therefore, in this research made a system that can do bull semen recording. Then, the spermatozoa tracking based on matching-based algorithm in semen, and from the trajectory that was analyzed between it is normal or not the sperm movement in semen. In video with difference of recording speed, has been obtained the highest accuracy at 30 fps video with average of tracking value 90% and determination of abnormality 87%. On 15 fps video, the tracking accuracy is 89% and the determination of the abnormality is 85%. For video with difference in dilution, has been obtained the highest accuracy value on 1:10 dilution video with 89% average tracking rate and determination of abnormality 85%. While in the 1:5 dilution video the tracking accuracy average is 74% and the determination of the abnormality is 66%. Thus the algorithm matching-based can be used to track and determine the abnormalities of bull sperm motility.

Keywords : Spermatozoa, Sperm tracking, Matching-based, Sperm Analysis

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT atas segala limpahan berkah, rahmat, serta hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan judul **Penentuan Abnormalitas Pergerakan Spermatozoa Berbasis Algoritma *Matching-Based***.

Penelitian ini disusun dalam rangka pemenuhan bidang riset di Departemen Teknik Komputer ITS, Bidang Studi Telematika, serta digunakan sebagai persyaratan menyelesaikan pendidikan S1. Penelitian ini dapat terselesaikan tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Keluarga, Ibu, dan Ayah yang telah memberikan dorongan spiritual dan material dalam penyelesaian buku penelitian ini.
2. Bapak Kepala Departemen Teknik Komputer dan dosen pembimbing Dr. I Ketut Eddy Purnama, ST., MT atas motivasi dan bimbingan selama mengerjakan penelitian.
3. Bapak dosen pembimbing Dr. Supeno Mardi Susiki N., ST., MT. atas bimbingan selama mengerjakan penelitian.
4. Bapak-ibu dosen pengajar Bidang Studi Telematika, atas pengajaran, bimbingan, serta perhatian yang diberikan kepada penulis selama ini.
5. Seluruh teman-teman B201 Laboratorium Bidang Studi Teknik Komputer dan Telematika dan teman-teman Departemen Teknik Komputer yang sedikit banyak membantu menyelesaikan buku ini.

Kesempurnaan hanya milik Allah SWT, untuk itu penulis memohon segenap kritik dan saran yang membangun. Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua. Amin.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

Abstrak	i
Abstract	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR ALGORITMA	xv
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan masalah	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Fertilitas	5
2.2 Infertilitas	5
2.2.1 Tidak Adanya Ovarium	5
2.2.2 Oophoritis	5
2.2.3 Faktor Infeksi	6
2.3 Spermatozoa	6
2.4 Semen	9
2.5 Analisis Sperma	11
2.6 Kamera Point Grey Flea3	11
2.7 Pengolahan Citra Digital	11
2.8 Regresi Linear	12
2.9 Euclidean Distance	12
2.10 Mean Smoothing	13
2.11 Algoritma Matching Based	13

3	DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM	15
3.1	Desain Sistem	15
3.2	Akuisisi Data	16
3.3	Penjejakan Sperma	20
3.3.1	Gaussian Blur	21
3.3.2	Background Subtraction	22
3.3.3	Spermatozoa Localization	25
3.3.4	Morphopological Filtering	26
3.3.5	Gap Filling	27
3.3.6	Mencari dan Menyimpan Posisi Sperma Terdeteksi	28
3.3.7	Penjejakan Dengan Algoritma Macching-Based	32
3.4	Pembuatan Lintasan Pergerakan Sperma	37
3.4.1	Menghaluskan Jalur yang Dilalui Setiap Spermatozoa Terdeteksi	37
3.4.2	Menggambar Lintasan Tiap Spermatozoa Terdeteksi	38
3.5	Penentuan Abnormalitas Pergerakan Spermtozoa	40
4	PENGUJIAN DAN ANALISA	47
4.1	Metode Pengujian	47
4.2	Video Dengan Perbedaan Jumlah FPS	48
4.2.1	Video dengan 15 fps	49
4.2.2	Video dengan 30 fps	51
4.3	Video Dengan Perbedaan Pengenceran Semen Beku	53
4.3.1	Video dengan pengenceran 1:5	53
4.3.2	Video dengan pengenceran 1:10	55
4.4	Perbandingan Dengan Metode Lain	58
4.5	Pengujian Aplikasi Lewat Kuesioner	59
4.6	Penyebab Kesalahan Penjejakan	62
4.6.1	Kualitas Video Rendah	62
4.6.2	Jalur Berdekatan	63
4.6.3	Jalur Bersilangan	64
4.6.4	Frame tidak terekam	65
4.6.5	Spermatozoa Menyelam	66
4.6.6	Nilai Regresi Linier	67

5	PENUTUP	69
5.1	Kesimpulan	69
5.2	Penelitian Selanjutnya	70
	DAFTAR PUSTAKA	71
	LAMPIRAN	73
	Biografi Penulis	77

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

2.1	<i>Spermatozoon</i> Mamalia	7
2.2	Bagian Leher <i>Spermatozoon</i>	8
2.3	<i>Complete bipartite graph</i>	14
3.1	Gambaran umum desain sitem	16
3.2	Proses pengenceran semen sapi	17
3.3	Kamera Point Grey tipe FL3-U3-13S2C-CS	18
3.4	Alat-alat yang digunakan dalam proses akuisisi data	18
3.5	Pengambilan video menggunakan Kamera Point Grey Flea3 dan mikroskop	19
3.6	Tampilan proses perekaman semen dalam aplikasi	19
3.7	Hasil video dengan pengenceran : (a)1:5, (b)1:10	20
3.8	Alur penjejakan sperma	21
3.9	Perbandingan <i>frame</i> asli dengan hasil <i>gaussian smo-</i> <i>othing</i>	22
3.10	Diagram alir <i>background subtraction</i>	24
3.11	Hasil <i>background subtraction</i>	25
3.12	Hasil <i>morphological filtering</i>	27
3.13	Hasil <i>Gap Filling</i>	28
3.14	Posisi sperma terdeteksi dintandai lingkaran merah	31
3.15	Posisi sperma terdeteksi dintandai lingkaran merah	31
3.16	Perbandingan pencarian hubungan antar <i>frame</i> tan- pa ROI dan dengan ROI	32
3.17	<i>Frame-frame</i> menunjukkan perpindahan spermatozoa	33
3.18	Gambaran umum desain sitem	34
3.19	Beberapa kemungkinan dalam satu ROI	35
3.20	Penentuan kemungkinan pergerakan sperma berdasark- an jarak dan gradien	35
3.21	Alur Pembuatan Lintasan Spermatozoa	37
3.22	Hasil jalur pergerakan sperma dengan <i>mean smoothing</i>	39
3.23	Hasil jalur pergerakan sperma tanpa <i>mean smoothing</i>	40
3.24	Diagram alur penentuan normalitas pergerakan sper- matozoa	41
3.25	Hasil penentuan normalitas pergerakan spermatozoa	45
3.26	Hasil penentuan normalitas pergerakan spermatozoa	45

4.1	Hasil penjejakkan dengan video 15fps	50
4.2	Hasil penjejakkan dengan video 30fps	52
4.3	Hasil penjejakkan dengan video pengenceran 1:5 . . .	55
4.4	Hasil penjejakkan dengan video pengenceran 1:10 . .	57
4.5	<i>Frame</i> cuplikan video masukan dengan kualitas rendah	63
4.6	Dua jalur yang berdekatan	64
4.7	Dua jalur yang besilangan	65
4.8	Jalur terputus akibat hilangnya frame	65
4.9	Jalur terputus akibat spermatozoa menyelam	66
4.10	Perbandingan hasil penentuan nilai regresi linier . .	67
1	Hasil penjejakkan dan penentuan abnormalitas dengan video 15 fps	73
2	Hasil penjejakkan dan penentuan abnormalitas dengan video 30 fps	74
3	Hasil penjejakkan dan penentuan abnormalitas menggunakan video dengan pengenceran 1:5	75
4	Hasil penjejakkan dan penentuan abnormalitas menggunakan video dengan pengenceran 1:10	76

DAFTAR TABEL

4.1	Hasil penjejukan menggunakan video masukan 15 fps	49
4.2	Hasil pentuan abnormalitas menggunakan video masukan 15 fps	50
4.3	Hasil penjejukan menggunakan video masukan 30 fps	51
4.4	Hasil penentuan abnormalitas menggunakan video masukan 30 fps	52
4.5	Hasil penjejukan menggunakan video masukan dengan pengenceran 1:5	54
4.6	Hasil penentuan abnormalitas menggunakan video masukan dengan pengenceran 1:5	54
4.7	Hasil penjejukan menggunakan video masukan dengan pengenceran 1:10	56
4.8	Hasil penentuan abnormalitas menggunakan video masukan dengan pengenceran 1:10	56
4.9	Hasil perbandingan penjejukan algoritma <i>matching based</i> (MB) dengan <i>Kernelized Correlation Filters</i> (KCF)	59
4.10	Pertanyaan dalam kuesioner pengujian aplikasi . . .	60
4.11	Hasil perhitungan kuesioner pengujian aplikasi . . .	62

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ALGORITMA

1	Pencarian area yang dianggap spermatozoa	26
2	Morphological Filtering	27
3	Gap Filling	28
4	Simpan Posisi Sperma	30
5	Penentuan Jalur Sperma Terdeteksi	36
6	Mean Smoothing	38
7	Penggambaran Lintasan	39
8	Penentuan Abnormalitas	43

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

Tugas akhir ini di latar belakang oleh berbagai kondisi yang menjadi acuan. Selain itu juga terdapat beberapa permasalahan yang akan dijawab sebagai luaran dari tugas akhir ini.

1.1 Latar belakang

Pemeriksaan sperma dilakukan untuk mengetahui jumlah dan kualitas spermatozoa yang terdapat dalam semen. Pemeriksaan sperma merupakan pemeriksaan tahap pertama untuk menentukan tingkat kesuburan atau fertilitas. Pemeriksaan ini dapat membantu untuk menentukan ada tidaknya masalah pada sistem produksi sperma atau pada kualitas sperma yang menjadi faktor utama dalam mengetahui tingkat kesuburan. Tingkat kesuburan ini menentukan kemampuan untuk memperoleh keturunan. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk melakukan analisa sperma adalah dengan melihat pergerakan spermatozoa yang ada dalam semen. Beberapa ciri sperma yang baik diantaranya memiliki bentuk normal dengan kepala dan ekor yang lengkap. Ciri lain dari sperma yang baik adalah sperma dapat bergerak dengan cepat dan akurat menuju ke sel telur untuk melakukan proses pembuahan. Sedangkan sperma yang buruk memiliki gerakan lambat atau bergerak secara tidak akurat yang mengakibatkan sperma tidak dapat mencapai sel telur atau tidak dapat menembus sel, sehingga tidak dapat melakukan proses pembuahan.

Penelitian tentang analisis kualitas sperma pada hewan sudah dilakukan salah satunya adalah penelitian oleh Madhuri Dhurvey, V. K. Gupta, S. P. Nema, A. Patidar, M. Shivhare, N. Singh dan V. Shaky yang dipublikasikan dalam makalah dengan judul *Modern semen evaluation techniques in domestic animals: A review*. Dalam makalah tersebut dilakukan analisis sperma sapi dalam berbagai faktor, salah satunya melalui *sperm motility* atau pergerakan spermatozoa. Disebutkan dalam makalah bahwa hubungan antara fertilitas dengan motilitas adalah sebesar 0.15 to 0.84 [1]. Pada saat ini pemeriksaan sperma sapi yang umum dilakukan adalah pengujian

secara manual dengan visual mikroskopik yaitu menggunakan mikroskop. Mikroskop memiliki nilai subyektifitas yang cukup tinggi sehingga diperlukan seorang penguji yang berpengalaman, memiliki keahlian dan keterampilan dalam menilai gerakan spermatozoa untuk dapat memperoleh hasil pengujian yang akurat. Analisa secara manual ini memiliki beberapa kendala diantaranya tenaga ahli dalam proses analisa memiliki kemampuan yang bervariasi, sehingga terdapat kemungkinan perbedaan hasil pembacaan. Untuk dapat mengetahui hasil dari pemeriksaan secara manual ini membutuhkan waktu yang cukup lama.

Selain cara manual saat ini juga sudah ada analisa sperma dengan menggunakan komputer. Produk yang digunakan adalah CASA (*Computer-Aided Sperm Analysis*) atau *sperm analyzer*. Dengan CASA dilakukan pengambilan foto mikroskopik terhadap semen, sekaligus menganalisa jumlah, pergerakan dan morfologi sperma dalam semen. Tetapi produk CASA komersial harganya terlalu mahal dan belum sempurna. Ketepatan analisis produk CASA tergantung kualitas penyediaan semen, serta belum biasa megklasifikasi secara otomatis sperma normal atau abnormal. Beberapa penelitian untuk mengoptimalkan analisa sperma dengan komputer ini juga telah banyak dilakukan seperti pada makalah *A New Method for Multiple Sperm Cells Tracking* oleh Yoones Imani, Niloufar Teyfour, Mohammad Reza Ahmadzadeh dan Marzieh Golabbakhsh[2]. Dalam makalah tersebut mengusulkan metode baru penjejakan sperma untuk tujuan analisa sperma berbasis lintasan, dan masih banyak lagi penelitian yang membahas penjejakan sperma guna analisis sperma.

1.2 Permasalahan

Pemeriksaan kualitas sperma sapi secara manual dengan menggunakan mikroskop yang banyak dilakukan saat ini memiliki beberapa kendala. Kendala dalam pemeriksaan secara manual yaitu sulitnya memantau pergerakan spermatozoa, dan dari pergerakan tersebut juga sulit untuk menentukan spermatozoa mana yang pergerakannya normal atau abnormal. Selain itu juga sulit untuk menghitung jumlahnya. Padahal menurut ketentuan analisis semen dari WHO, perlu dihitung jumlah spermatozoa yang normal dan tidak normal[3].

1.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah membuat aplikasi untuk menentukan abnormalitas pergerakan spermatozoa berbasis algoritma *matching-based*. Dimana dalam aplikasi tersebut mengintegrasikan proses perekaman, penjejak, pembuatan lintasan, dan penentuan abnormalitas pergerakan spermatozoa.

1.4 Batasan masalah

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, diberikan beberapa batasan masalah, diantaranya sebagai berikut:

1. Data yang digunakan berupa video hasil rekaman semen sapi.
2. Analisa sperma yang dilakukan berdasarkan jalur pergerakan yang dilalui sel sperma.
3. Hanya menjejak sperma yang bergerak saja, tidak untuk sperma yang diam atau mati.
4. Video yang hasil perekaman yang digunakan adalah video dengan kecepatan perekaman 15 *frame per second* dan 30 *frame per second*

1.5 Sistematika Penulisan

Laporan penelitian tugas akhir ini tersusun dalam sistematika dan terstruktur sehingga mudah dipahami dan dipelajari oleh pembaca maupun seseorang yang ingin melanjutkan penelitian ini. Alur sistematika penulisan laporan penelitian ini yaitu :

1. BAB I Pendahuluan
Bab ini berisi uraian tentang latar belakang permasalahan, penegasan dan alasan pemilihan judul, sistematika laporan, tujuan dan metodologi penelitian.
2. BAB II Dasar Teori
Pada bab ini berisi tentang uraian secara sistematis teori-teori yang berhubungan dengan permasalahan yang dibahas pada penelitian ini. Teori-teori ini digunakan sebagai dasar dalam penelitian, yaitu informasi terkait fertilitas, Spermatozoa, Analisis Semen, Pengolahan Citra Digital dan teori-teori penunjang lainnya.
3. BAB III Perancangan Sistem dan Implementasi

Bab ini berisi tentang penjelasan-penjelasan terkait eksperimen yang akan dilakukan dan langkah-langkah data diolah hingga menghasilkan visualisasi. Guna mendukung itu digunakanlah blok diagram atau *work flow* agar sistem yang akan dibuat dapat terlihat dan mudah dibaca untuk implentasi pada pelaksanaan tugas akhir.

4. BAB IV Pengujian dan Analisa

Bab ini menjelaskan tentang pengujian eksperimen yang dilakukan terhadap data dan analisisnya. Beberapa teknik visualisasi akan ditunjukkan hasilnya pada bab ini dan dilakukan analisa terhadap hasil visualisasi dan informasi yang didapat dari hasil mengamati visualisasi yang tersaji.

5. BAB V Penutup

Bab ini merupakan penutup yang berisi kesimpulan yang diambil dari penelitian dan pengujian yang telah dilakukan. Saran dan kritik yang membangun untuk mengembangkan lebih lanjut juga dituliskan pada bab ini.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Demi mendukung tugas akhir ini, dibutuhkan beberapa teori penunjang sebagai bahan acuan dan referensi. Dengan demikian tugas akhir ini menjadi lebih terarah.

2.1 Fertilitas

Fertilitas berasal dari kata fertil yang berarti subur. Dalam hal ini fertilitas diartikan sebagai kemampuan untuk dapat menghasilkan keturunan. Syarat suatu sperma yang baik / normal adalah sesuai dengan parameter spermatozoa normal. Bila bagian besar parameter tersebut (terutama jumlah dan motilitas spermatozoa) tidak sesuai, maka spermatozoa tidak akan dapat membuahi sel telur. Keadaan seperti ini disebut infertilitas. [4]

2.2 Infertilitas

Infertilitas adalah keadaan dimana spermatozoa tidak dapat melakukan proses pembuahan terhadap sel telur yang mengakibatkan kegagalan mendapatkan keturunan. Ada berbagai macam penyebab infertilitas. Sterilitas pada hewan dapat bersifat sementara atau permanen. Infertilitas biasanya dianalisa berdasarkan penyebabnya. Penyebab infertilitas bisa berupa penyebab anatomis, fungsional atau karena infeksi. Berikut beberapa penyebab infertilitas pada sapi akibat kelainan anatomi [5] :

2.2.1 Tidak Adanya Ovarium

Biasanya kejadiannya jarang dimana satu atau kedua ovarium tidak ada dengan gejala utama adalah *anestrus*. [5]

2.2.2 Oophoritis

Oophoritis adalah peradangan yang terjadi pada ovarium yang diakibatkan oleh adanya manipulasi traumatik pada ovarium yang diikuti oleh infeksi bakteri. Selain itu bisa juga karena adanya infeksi pada *oviduk/uterus*, atau adanya penularan dan *perimetritis*. Pada *palpasi per rektal* terdapat titik pertumbuhan *folikel*. Gejala yang tampak adalah *anestrus*. [5]

2.2.3 Faktor Infeksi

Infeksi yang terjadi pada saluran reproduksi akan mempengaruhi bagian *uterus* yang dapat menyebabkan gangguan jalannya sperma, kematian sperma, gangguan konsepsi, kematian *fetus*, kematian *embrio*, *stillbirth*, dan *pedet* lahir lemah. Terdapat 2 bentuk infeksi yang menjadi penyebab infertilitas yaitu infeksi non spesifik dan infeksi spesifik.[5]

1. Infeksi Spesifik

Masalah utama yang terjadi pada sistem reproduksi adalah adanya organisme *patogen* spesifik yang dapat mempengaruhi fungsi reproduksi. Organisme *patogen* spesifik yang dapat menyebabkan infertilitas pada sapi diantaranya adalah *brucellosis*, *vibriosis*, *IBR-IPV*, *BVD*, *leptospirosis* dan lain-lain.[5]

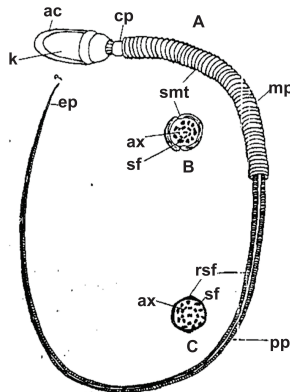
2. Infeksi Non Spesifik

Pada dasarnya saluran reproduksi mempunyai sistem pertahanan terhadap mikroorganisme yaitu pertahanan fisik dengan cara kerja dan otot *spingter vulva* dan *servik* atau dengan pertahanan alami dimana mekanisme jaringan dipengaruhi oleh sistem *endokrin* (efektif pada fase *estrogen*). Jadi apabila ada mikroorganisme yang masuk pada saat *kopulasi*, *TB*, *partus*, atau *pasca partus*, pertahanan fisik menjadi akan menjadi tidak berguna. Kegagalan mekanisme pertahanan alami ini dapat disebabkan karena adanya *retensi plasenta*, *distokia*, dan penyakit *metabolic*. Selain itu adanya kelukaan pada jaringan akan mengurangi *resistensi* dan kadang-kadang mengakibatkan *metritis puerpureal*.[5]

2.3 Spermatozoa

Satu spermatozoa atau *spermatozoon* terdiri atas kepala dan ekor. Kepala *spermatozoon* berbentuk lonjong jika dilihat dari atas dan *pyriform* jika dilihat dari samping, memiliki bentuk yang lebih tebal dekat leher dan menggepeng ke bagian ujung. Panjang kepalanya 4-5 m sedangkan lebarnya 2.5-3.5 m. Sebagian besar kepala berisi inti, yang kromatinnya sangat terkondensasi untuk menghemat ruangan yang kecil, dan untuk melindungi diri dari kerusakan

ketika *spermatozoon* mencari sel telur. Dua pertiga bagian depan dari inti diselaputi oleh tutup *akrosom*, bagian ini berisi enzim untuk menembus dan memasuki sel telur.[4]



Gambar 2.1: *Spermatozoon* Mamalia

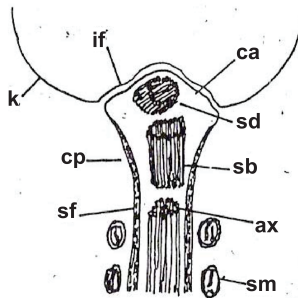
Sumber : [4]

Keterangan :

- A = Keseluruhan
- B = Penampang lintang bagian tengah
- C = Penampang lintang bagian Utama
- ac = Tutup *akrosom*
- ax = *Axonem*
- cp = Leher (*connecting piece*)
- mp = Bagian tengah (*middle piece*)
- pp = Bagian utama (*principal piece*)
- ep = Bagian ujung ekor (*end piece*)
- k = Kepala
- rsf = Rusuk *seludang fibrosa*
- sf = *Seludang fibrosa*
- smt = *Seludang mitokondia* Ekor, dibagi atas:
 1. Leher
 2. Bagian tengah
 3. Bagian utama
 4. Bagian ujung

Keseluruhan panjang ekor dari *spermatozoon* berukuran sekitar 55 m dan tebalnya memiliki ukuran yang berbeda-beda, dari 1 m dekat pangkal hingga 0,1 m dekat ujung. Pembagian ekor terdiri dari 4 bagian yang hampir tidak dapat dibedakan di bawah mikroskop cahaya. Perlu teknik mikroskopis khusus dan mikroskop elektron untuk dapat membedakan bagian ini.[4]

Leher spermatozoa merupakan bagian penghubung antara ekor dengan kepala. Bagian ini menjadi tempat melekatnya ekor ke kepala yang disebut *implantation fossa*, dan bagian ekor yang menonjol disebut *capitulum*, yang bentuknya semacam sendi peluru pada kepala. Didekat *capitulum* terdapat *sentrinol* depan (*proximal*). *Sentrinol* ujung (*distal*) hanya berupa bagian sisa pada spermatozoa matang.[4]



Gambar 2.2: Bagian Leher *Spermatozoon*

Sumber : [4]

Keterangan:

- ax = Axonem Flagellum
- ca = Capitullum
- cp = bagian leher (*connecting piece*)
- if = *implantation fossa*
- k = kepala
- sb = *sentrinol* belakang
- sd = *sentrinol* depan
- sf = serat *fibrosa*
- sm = *seludang mitokondria*

Pada bagian tengah (*midpiece, middle piece*) memiliki teras yang disebut *axonem*, bagian ini terdiri dari 9 *duplet mikrotubul radial* dan 2 *singlet mikrotubul sentral*. Bagian ini sama dengan *sitoskeleton* yang dimiliki oleh *cilia* dan *flagella*. Susunan *axonem* ini sama dari pangkal hingga ujung ekor. Beda dengan *flagellum* lainnya, ekor spermatozoa mengandung *dense fiber* (serat padat) yang bersusun 9-9-2 di luar *axonem*. Di bagian ini *mitokondria* bersambung-sambung dalam susunan spiral dan rapat, membentuk selubung *axonem* bersama *dense fiber*. Panjang bagian tengahnya antara 5-7 m, dan tebalnya 1 m.[4]

Bagian ujung selubung *mitokondria* berupa *annulus* (cincin), sebagai tempat melekatnya membran *flagellum*, dan juga sebagai batas bagian ini dengan bagian utama. Bagian utama (*principal piece*), memiliki panjang 45 m, tebal 0.5 m, yang secara berangsur kian gepeng hingga ke ujung. Pada bagian luar ada *seludang fibrosa* (serat jaringan ikat), yang terdiri dari batang *longitudinal* atas bawah, diselaputi rusuk-rusuk *fibrosa* setengah lingkaran.[4]

Bagian ujung, (*end piece*) panjang 5-7 m. tidak mengandung selaput fibrosa yang berusuk-rusuk, sehingga berstruktur sama dengan *flagellum* atau *cilium*. Di daerah ini *axonem* berubah komposisinya. Tidak lagi *doublet*, tapi jadi *singlet*. [4]

2.4 Semen

Lendir yang keluar dari genitalia jantan waktu ejakulasi disebut *semen* (mani). Semen terdiri dari bagian padat dan bagian cair. Bagian padat dari semen adalah spermatozoa, sedangkan bagian cairnya disebut *plasma semen* (air mani). Spermatozoa dihasilkan oleh testis, sedangkan *plasma semen* dihasilkan oleh *ampulla vas deferens*, dan kelenjar-kelenjar prostat, *vesicula seminalis*, Cowper serta *Littre*. Pada umumnya saat semen keluar dari penis terjadi dalam 4 fraksi:

1. Fraksi pre-ejakulasi
2. Fraksi awal
3. Fraksi utama fraksi-fraksi ejakulat
4. Fraksi akhir

Fraksi pre-ejakulasi berasal dari kelenjar *Cowper* dan *Littre*. Semen dalam fraksi ini dapat keluar dari penis jauh sebelum ejakulasi berlangsung. Fungsinya adalah untuk melicinkan *urethra*, selain itu juga berfungsi untuk melicinkan *vagina* waktu *coitus*. Volumnya kurang lebih 0.2 ml.[4]

Fraksi awal semata-mata hanya lendir yang berasal dari *prostat*. Lendir ini mengandung berbagai zat untuk memelihara spermatozoa ketika berada di luar tubuh jantan. Volume semen pada fraksi ini adalah 0.5 ml. Fraksi utama terdiri dari lendir dan sebagian besar merupakan spermatozoa yang dikeluarkan dari tempat penyimpanannya dalam *epididymis*. Volumnya kurang lebih 2.0 ml.[4]

Sedangkan fraksi akhir adalah lendir yang mengandung sedikit spermatozoa, biasanya pada fraksi ini dalam keadaan *nonmotil* (tak bergerak). Lendir dari fraksi utama dan akhir berasal dari *vesicula seminalis*, yang fungsinya juga untuk memelihara spermatozoa ketika berada di luar tubuh jantan. Volumnya 0.5 ml.[4]

Warna semen waktu baru diejakulasi seperti warna lem kanji yang encer, atau putih keabu-abuan. Makin gelap warna ini menunjukkan makin banyak terkandung spermatozoa di dalamnya. Jika spermatozoa sedikit sekali atau tak ada di dalam semen maka warnanya bening jernih.[4]

Volume normal semen sekali ejakulasi sekitar 2,0 sampai 3,0 ml. Ada juga yang sampai 4,5 ml. Jika volume semen kurang dari 1 ml, ada kemungkinan tak beresnya prostat dan vesicula seminalis yang merupakan penghasil utama plasma semen. Bau semen itu khas, kata orang Barat seperti bau bunga *chestnut*. Bau itu berasal dari *spermin* yang dihasilkan oleh *prostat*. [4]

Keadaan fisik semen yang baru keluar dari proses ejakulasi adalah kental. Tapi sekitar 15 menit kemudian akan mengalami pengenceran, disebut *likuifaksi*. Proses pengenceran ini dilakukan oleh *sminin* (enzim *lysis*) yang dihasilkan prostat. Jika terdapat ketidakwajaran pada proses pengenceran berarti ada ketidakberesan pada kelenjar itu.[4]

2.5 Analisis Sperma

Analisis sperma merupakan pemeriksaan yang penting untuk mengetahui fungsi organ reproduksi mamalia jantan. Dengan analisis sperma maka dapat diketahui mamalia jantan tersebut fertil (dapat memperoleh keturunan) atau infertil (tidak dapat memperoleh). Perananan analisa semen penting sekali dalam menentukan tingkat kesuburan mamalia jantan. Dalam analisa sperma dilakukan pemeriksaan semen, semen diperiksa harus dari seluruh hasil ejakulat. Oleh karena itu pengambilan dari tubuh harus dengan masturbasi atau coitus interruptus (bersetubuh dan waktu ejakulasi persetubuhan dihentikan dan mani ditampung semua).

Untuk memperoleh hasil tes yang akurat sebaiknya semen diperiksa paling lama satu jam sesudah ejakulasi. Jika sampel akan dipakai lebih dari 4 jam setelah ejakulasi, maka sampel dapat disimpan dalam lemari es, dan untuk dapat memeriksanya kembali harus ditempatkan terlebih dahulu dalam suhu kamar. Yang dianalisa secara rutin ialah[4]:

1. Kualitas dan kuantitas spermatozoa.
2. Fungsi sakretoris kalenjar asesoris seksomnia

2.6 Kamera Point Grey Flea3

Flea3 merupakan salah satu model dari kamera Point Grey dengan ukuran yang kecil yaitu 29 x 29 x 30 mm, namun memiliki kemampuan melakukan perekaman video 4K (8.8 MP). Flea3 juga menawarkan beberapa fitur, seperti peningkatan *opto-isolated GPIO*, *32 megabyte frame buffer*, *non-volatile user data storage*, berbagai macam mode *trigger*, *on-camera processing* termasuk interpolasi warna, *look up table*, *gamma correction*, dan fungsi *pixel binning*. [6]

2.7 Pengolahan Citra Digital

Pengolahan citra digital meliputi proses yang masukan dan keluarannya berupa gambar, proses yang dilakukan meliputi ekstrak atribut dari gambar masukan, sampai proses pengenalan objek pada gambar. Misalnya proses mendapatkan teks pada gambar, yang pertama dilakukan preprocessing gambar tersebut, segmentasi setiap karakter yang ada, mendeskripsikan karakter yang sesuai untuk pemrosesan komputer, dan mengenali setiap karakter hingga dida-

patkan teks dalam gambar. Proses tersebut merupakan pengolahan citra digital. [7]

2.8 Regresi Linear

Regresi linier merupakan prosedur untuk mendapatkan hubungan matematis dalam bentuk persamaan antara variabel tetap dengan satu atau lebih variabel bebas. Dalam regresi linier sederhana hanya memiliki satu variabel bebas X yang dihubungkan dengan satu variabel tetap Y. Bentuk umum persamaan regresi linear dari Y terhadap X adalah [8]:

$$y' = a + bx' \quad (2.1)$$

Dimana :

y' = Variable terikat

x' = Variable bebas

a = Konsanta/*intercept*

b = Koefisien regresi/*slope*

Rumus untuk mencari nilai a dan b adalah:

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (2.2)$$

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (2.3)$$

Dimana :

$\sum x$ = jumlah nilai x

$\sum y$ = jumlah nilai y

$\sum x^2$ = jumlah nilai x kuadrat

$\sum xy$ = jumlah nilai x*y

n = banyaknya data

2.9 Euclidean Distance

Jarak digunakan untuk menentukan tingkat kesamaan (*similarity degree*) atau ketidaksamaan (*disimilarity degree*) dua vektor fitur. Tingkat kesamaan berupa suatu nilai (*score*) dan berdasarkan nilai tersebut dua vektor fitur akan dikatakan mirip atau tidak.

Euclidean distance merupakan salah metode yang paling sering digunakan untuk menghitung kesamaan 2 vektor. *Euclidean distance* menghitung akar dari kuadrat perbedaan 2 vektor (*root of square differences between 2 vectors*). [9] Rumus dari *Euclidean distance*:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (2.4)$$

Dimana:

- d_{ij} = tingkat perbedaan (*dissimilarity degree*)
- n = jumlah vektor
- x_{ik} = vektor masukan
- x_{jk} = vektor pembanding

2.10 Mean Smoothing

Mean smoothing merupakan *spatial filtering*, dengan cara menghitung nilai rata-rata dari nilai piksel-piksel disekitarnya. *Mean Smoothing* diterapkan dalam sebuah array 1 dimensi, untuk menghaluskan sebuah garis. Rumus untuk menghitung nilai rata-rata adalah sebagai berikut [10] :

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2.5)$$

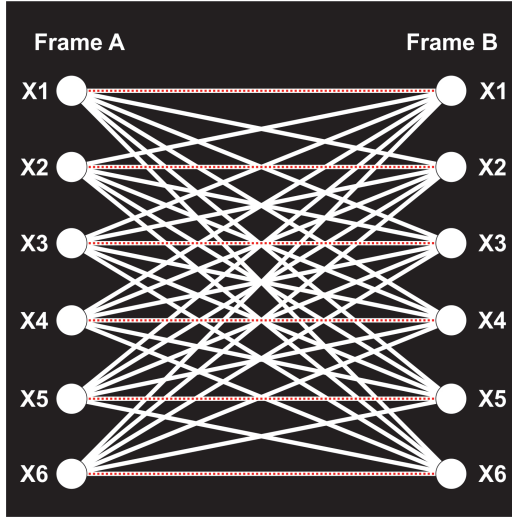
Keterangan:

- \bar{X} = Nilai rata-rata (*Mean*)
- n = Jumlah data
- X_i = Nilai ke-i
- i = Nilai awal

2.11 Algoritma Matching Based

Matching-based merupakan algoritma untuk mencari hubungan antar frame hal berdasarkan nilai kesamaan terbesar. Misalkan dari *frame* A terdapat beberapa titik yaitu $\vec{X}_A \equiv \{X_A, i = 1, \dots, N_A\}$ dan dalam *frame* B $\vec{X}_B \equiv \{X_B, j = 1, \dots, N_B\}$, tujuannya adalah untuk menemukan kesesuaian antara titik pada X_A dengan titik pada X_B . Variabel i dan j dalam persamaan menunjukkan

banyaknya titik dalam tiap *frame* nilainya mulai dari 1 hingga N. Hubungan ini dapat dimodelkan kedalam *complete bipartite graph* $G = (U, V, E)$, dimana $U = X_A^1, X_A^2, \dots, X_A^k$, $V = X_B^1, X_B^2, \dots, X_B^l$ dan E merupakan kemungkinan kecocokan antara setiap pasangan dari sperma dalam *frame* A dan B [2]. Ilustrasi dari *complete bipartite graph* dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3: *Complete bipartite graph*

Dalam Gambar 2.3 mengilustrasikan titik-titik x yang merupakan titik dalam kedua frame, garis putih menunjukkan hubungan yang terjadi, sedangkan garis merah menunjukkan kesamaan terbesar yang diperoleh.

BAB 3

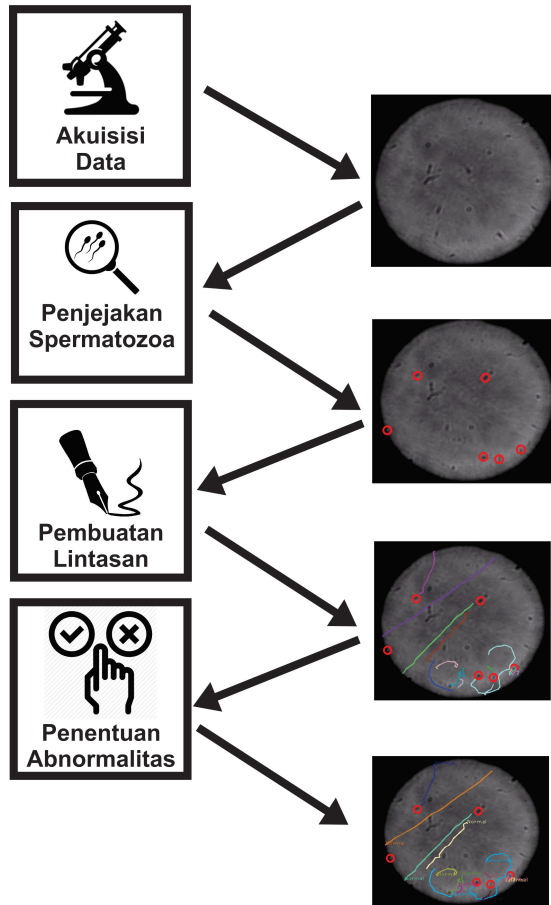
DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

3.1 Desain Sistem

Desain sistem dari aplikasi terintegrasi yang dibuat dalam penelitian ini ditunjukkan seperti pada Gambar 3.1, tahapan-tahapan dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Akuisisi data
2. Penjejukan sperma
3. Pembuatan lintasan
4. Penentuan *abnormalitas*

Penjejukan spermatozoa dilakukan pada video masukan yang berupa video dari hasil perekaman semen sapi. Setiap spermatozoa yang bergerak dalam video masukan dijejak, hasil penjejukan berupa lintasan pergerakan dari tiap-tiap spermatozoa dalam video. Penjejukan dilakukan untuk menentukan normal atau tidaknya pergerakan tiap-tiap spermatozoa dalam video. Untuk memudahkan pengamatan maka tiap lintasan diberi warna yang berbeda. Gambar lintasan yang terbentuk dari hasil penjejukan ini dapat digunakan untuk menganalisa normal atau tidaknya spermatozoa yang bergerak dalam video masukan.

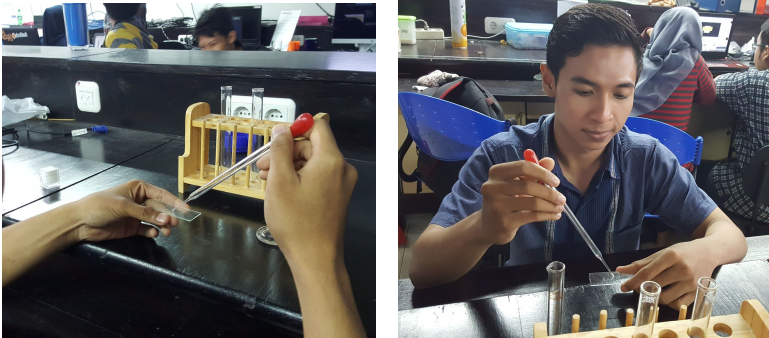


Gambar 3.1: Gambaran umum desain sitem

3.2 Akuisisi Data

Pada tahap akuisisi data, data yang digunakan dalam penelitian ini, berupa video semen sapi dengan jenis simental yang diperoleh dari Dinas Peternakan Provinsi Jawa Timur. Sampel tersebut didiamkan terlebih dahulu sekitar 20-30 menit dengan suhu ruang untuk kemudian diamati. Hal tersebut perlu dilakukan karena pada saat cairan sperma dikeluarkan masih kental dan perlu pengencer-

an supaya spermatozoa yang diamati tidak terlalu rapat, bergerak lebih aktif dan dapat jelas dibedakan. Ilustrasi proses pengenceran semen ini, dapat dilihat dalam Gambar 3.2.



Gambar 3.2: Proses pengenceran semen sapi

Perekaman video dilakukan dengan menggunakan kamera Point Grey tipe Flea3 (FL3-U3-13S2C-CS) yang ditempatkan diatas lensa okuler pada mikroskop. Kamera Flea3 memiliki resolusi 1328 x 1048 piksel dengan jenis sensor CMOS, nama sensor Sony IMX03, dengan ukuran piksel 3.63 μm , memiliki rentang pencahayaan (*exposure range*) antara 0.008 ms hingga 1 *second*. Flea3 memiliki kemampuan merekam dengan kecepatan hingga 120 fps (*frame per second*). Namun dalam penelitian ini hanya digunakan kecepatan perekaman 15 fps dan 30 karena keterbatasan pada spesifikasi komputer yang digunakan. Jika menggunakan kecepatan perekaman yang lebih tinggi, kinerja komputer yang digunakan untuk merekam tidak dapat menyaingi laju frame rate dari video, sehingga terdang terjadi *frame* yang tidak terekam secara berturut-turut. Hasilnya adalah gambar video yang tersendat-sendat di mana pergerakan spermatozoa terlihat sangat cepat atau seperti meloncat-loncat. Kamera Point Grey tipe Flea3 ini dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3: Kamera Point Grey tipe FL3-U3-13S2C-CS

Mikroskop yang digunakan untuk mengamati pergerakan spermatozoa merupakan mikroskop cahaya dengan pembesaran 10x pada lensa okuler dan pada lensa objektif 40x, sehingga pergerakan spermatozoa dapat dengan jelas diamati dan direkam dengan kamera flea3. Untuk menggabungkan ke komputer digunakan kabel USB 3.0, seperti pada Gambar 3.4a dan ilustrasi mikroskop yang digunakan untuk perekaman ada pada Gambar 3.4b. Sedangkan proses perekaman keseluruhan dengan mikroskop, kamera Point Grey Flea3 yang dihubungkan pada komputer dengan kabel USB 3.0 dapat dilihat pada Gambar 3.5.

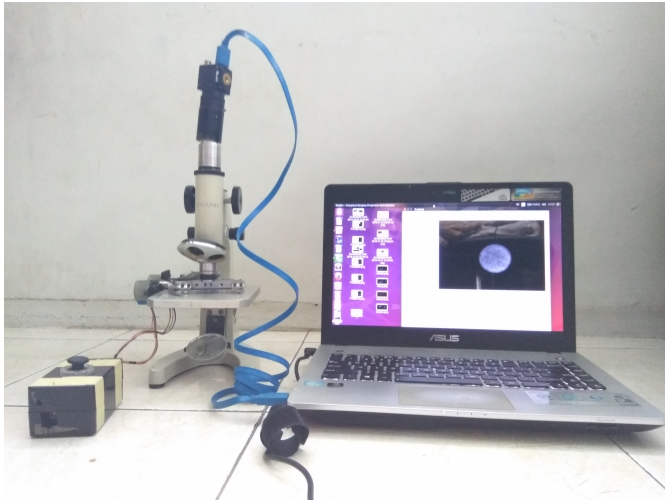


(a) Kabel USB 3.0

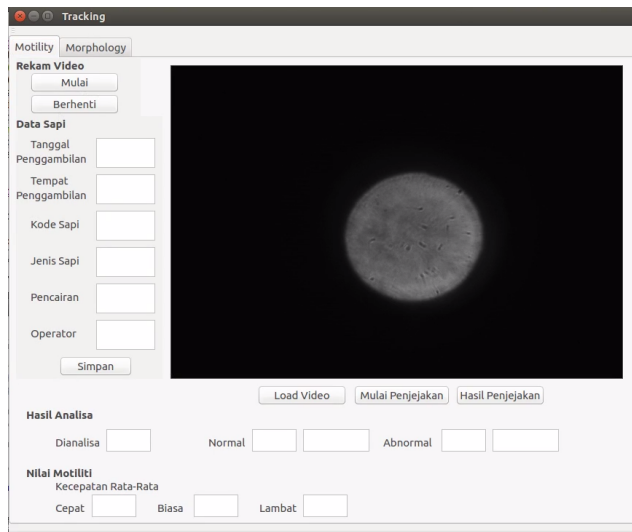


(b) Mikroskop Cahaya

Gambar 3.4: Alat-alat yang digunakan dalam proses akuisisi data

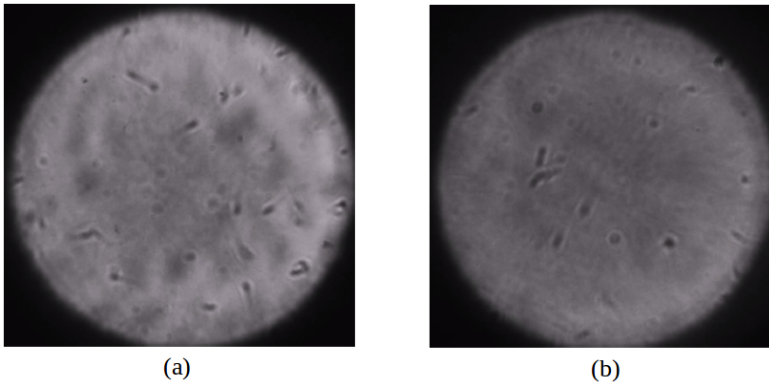


Gambar 3.5: Pengambilan video menggunakan Kamera Point Grey Flea3 dan mikroskop



Gambar 3.6: Tampilan proses perekaman semen dalam aplikasi

Dalam aplikasi proses perekaman video semen sapi dilakukan dengan menekan tombol Mulai dan untuk mengakhiri dengan menekan tombol Berhenti, ilustrasi tampilan dalam aplikasi dapat dilihat dalam Gambar 3.6. Proses perekaman diambil video dengan menggunakan beberapa kecepatan *frame* yang berbeda-beda, yaitu 15 fps dan 30 fps. Selain itu proses pengenceran semen sapi beku juga menggunakan dua jenis perbandingan yang berbeda yaitu 1:5 dan 1:10 antara cairan semen dengan cairan pengencer.



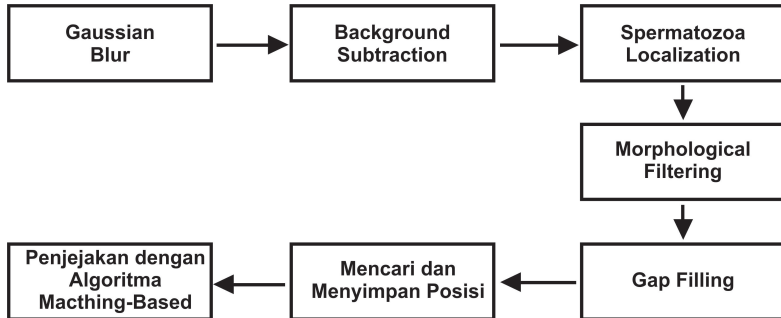
Gambar 3.7: Hasil video dengan pengenceran : (a)1:5, (b)1:10

Tujuan dari pengambilan video dengan fps yang berbeda adalah untuk mencari video dengan fps terendah yang masih bisa digunakan untuk mengamati pergerakan spermatozoa dan dianalisa pergerakannya. Sedangkan perbedaan pengenceran semen bertujuan untuk mendapatkan jumlah banyaknya populasi sel spermatozoa yang masih bisa dilakukan penjejakan untuk dianalisa pergerakannya. Hasil perekaman dapat dilihat dalam gambar 3.7.

3.3 Penjejakan Sperma

Tahapan yang kedua dalam penelitian ini adalah penjejakan sperma. Penjejakan bertujuan untuk mendapatkan posisi koordinat tiap sperma yang bergerak dalam video masukan. Penjejakan sperma dilakukan dengan menggunakan metode *matching-based*. Tahapan ini merupakan tahapan yang paling penting dalam pene-

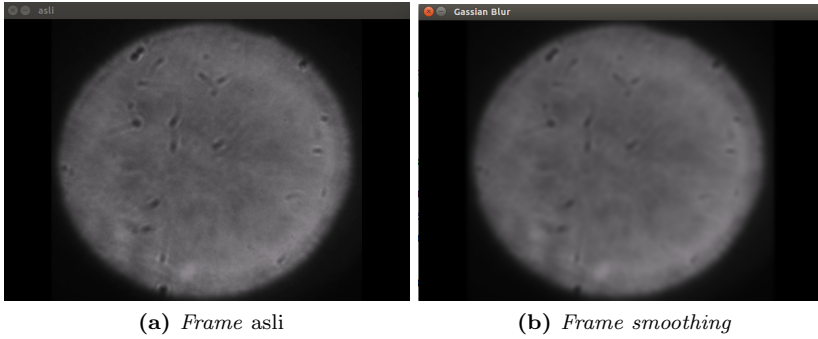
litian ini karena sebagian besar proses dilakukan pada tahap ini. Pada Gambar 3.8 ini adalah proses-proses yang dilakukan untuk dapat melakukan penjejakan spermatozoa dalam video masukan:



Gambar 3.8: Alur penjejakan sperma

3.3.1 Gaussian Blur

Gaussian smoothing atau *gaussian blurring* merupakan merupakan operasi konvolusi 2D yang digunakan untuk memberikan efek *blur* pada citra dengan tujuan menghilangkan noise. *Smoothing* dilakukan dengan cara menggeser *window (kernel)* keseluruhan bagian piksel dalam citra dan menghitung nilai dan menghitung setiap piksel berdasarkan nilai kernel dan nilai piksel gambar asli yang tumpang tindih[11]. Dalam penelitian ini kernel yang digunakan adalah 13x13, semakin besar kernel maka citra yang dihasilkan juga semakin tampak *blur*. Berikut pada Gambar 3.9 merupakan hasil *gaussian smoothing*.



Gambar 3.9: Perbandingan *frame* asli dengan hasil *gaussian smoothing*

3.3.2 Background Subtraction

Proses *background subtraction* dilakukan pada video masukan untuk memisahkan antara sperma sebagai *foreground* dalam video dengan objek lain (*background*). Metode yang digunakan adalah *Gaussian Mixture Model* (GMM). Gambaran umum penerapan metode GMM ini adalah setiap data piksel X pada koordinat (x,y) dalam sebuah frame video dimodelkan kedalam distribusi Gaussian yang dihitung berdasarkan masukan nilai vektor warna R, G, B. Pada awal pemodelan kedalam distribusi Gaussian diperlukan masukan inisialisasi data nilai *mean* dan *varian* piksel dari pada koordinat tersebut untuk membentuk distribusi Gaussian. Saat membentuk distribusi Gaussian maka terbentuk *weight* (bobot) dari distribusi Gaussian tersebut. Nilai *weight* ini diperbarui setiap ada masukan. Pembaruan nilai *weight* ini mengakibatkan terbentuknya beberapa model background distribusi Gaussian. Nilai data pada setiap piksel kemudian dicocokkan dengan model background tersebut berdasarkan probabilitas Gaussian-nya. Dalam mencocokkan nilai piksel ini ada dua kemungkinan yaitu:

Yang pertama jika ada nilai yang cocok dengan nilai model Gaussian yang ada, maka model Gaussian yang sesuai diurutkan berdasarkan nilai bobotnya dan dicari nilai terkecil yang merepresentasikan *background*, sedangkan nilai lainnya sebagai *foreground*. Kemudian untuk pencocokan selanjutnya terlebih dahulu memperbarui nilai *mean*, standar deviasi dan *weight*.

Kemungkinan yang kedua adalah jika tidak ada nilai piksel yang cocok dengan nilai model Gaussian, maka piksel ini dianggap sebagai *foreground* dan nilai yang memiliki probabilitas paling rendah dibentuk nilai distribusi baru. Distribusi baru yang terbentuk memiliki nilai *mean* yang sama dengan nilai piksel, nilai varian yang tinggi, dan nilai *weight* yang rendah [12]. Pada Gambar 3.10 merupakan diagram alir proses *background subtraction*.

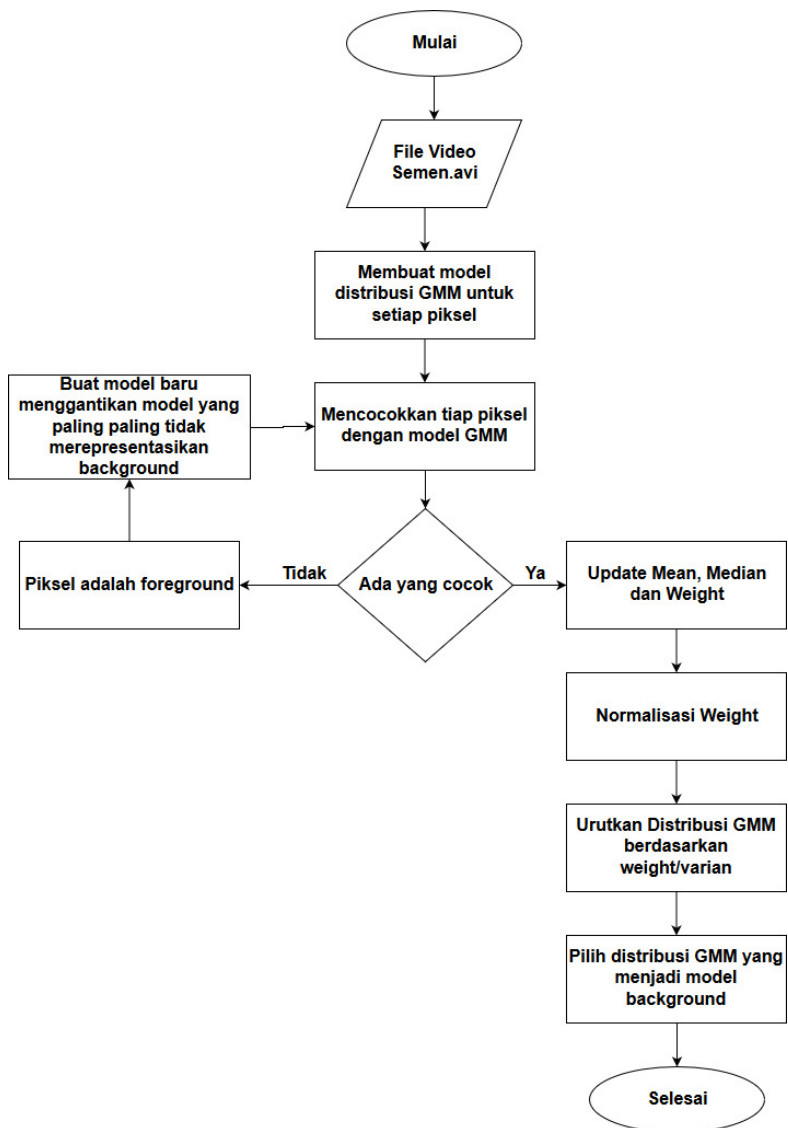
Metode *Gaussian Mixture Model* (GMM) ini dipilih karena memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. Mencari objek yang bergerak, dalam hal ini piksel yang bergerak
2. Memodelkan dengan distribusi normal atau disebut juga distribusi gauss.
3. Selama ada pergerakan piksel dari lokasi (x,y) dalam frame n ke frame n+1 maka dapat terdeteksi sebagai objek bergerak karena nilai peluangnya berbeda.
4. Piksel semakin banyak bergerak nilai varian semakin tinggi.

Namun metode GMM ini juga memiliki beberapa kelemahan, yaitu:

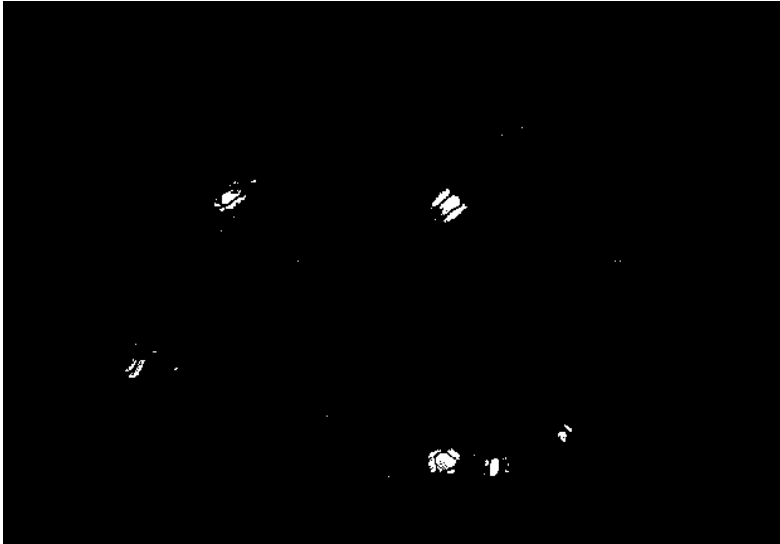
1. Jika *learning rate* (α) tinggi maka noise juga ikut terdeteksi sebagai objek bergerak.
2. Jika *learning rate* (α) rendah, objek yang seharusnya terdeteksi sebagai objek bergerak menjadi tidak terdeteksi atau *foreground* dianggap sebagai *background*.

Oleh karena itu metode *Gaussian Mixture Model* cocok digunakan untuk mendeteksi pergerakan objek yang acak kecepatan (*velocity random*) maupun percepatannya (*acceleration random*). Namun harus dilakukan filtering dari hasil GMM ini.



Gambar 3.10: Diagram alir *background subtraction*

Hasil frame dalam video yang diperoleh dari proses *background subtraction* menjadi seperti pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11: Hasil *background subtraction*

3.3.3 Spermatozoa Localization

Spermatozoa *localization* merupakan tahapan untuk mencari area-area yang diduga sebagai spermatozoa. Dalam mencari area yang diduga sperma cara yang dilakukan adalah dengan mencari kontur (*contour*). Kontur merupakan keadaan yang ditimbulkan oleh perubahan intensitas pada piksel-piksel yang bertetangga. Karena adanya perubahan intensitas inilah, tepi (*edge*) objek pada video dapat dideteksi[13]. Dengan terdeteksinya tepi tiap objek dalam video ini dapat digunakan untuk membedakan objek dengan warna yang berberda. Perbedaan warna yang didapat inilah yang digunakan untuk membedakan objek yang dianggap sebagai sperma yaitu area yang berwarna putih dan objek yang dianggap sebagai *background* yaitu area yang berwarna hitam. Jika cara ini dituliskan dalam algoritma maka ilustrasi dari algoritma tersebut dapat dilihat pada Algoritma 1.

Algoritma 1 Pencarian area yang dianggap spermatozoa

```
1: Function findcontour(input frame : Mat, output area : Mat)
   {Mencari perubahan intensitas pada pixel-pixel bertetangga}
2: banyakframe = int {jumlah frame dalam video}
3: for i=0 to banyakframe-1 do
4:   findcontour(frame[i])
5:   if area == hitam then
6:     area = background
7:   else
8:     if area == putih then
9:       area = foreground
10:    end if
11:  end if
12: end for
```

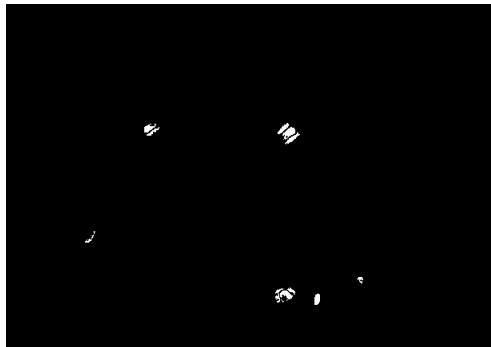
3.3.4 Morphological Filtering

Contour yang diperoleh dari hasil tahapan sebelumnya masih terdapat beberapa area putih kecil yang tidak dibutuhkan dalam proses penjejakan, karena area-area ini bukan merupakan spermatozoa. Area berukuran kecil hasil pencarian *contour* ini merupakan *noise* yang terdeteksi sebagai gerakan dari hasil *background subtraction*. *Noise* ini harus dihilangkan dengan cara menerapkan *Morphological Filtering*. Untuk dapat menghilangkan objek yang tidak diinginkan dengan objek yang diduga spermatozoa menggunakan *morphopological filtering* caranya adalah dengan melakukan segmentasi atau memisahkan antara area yang tidak diinginkan dengan area yang diinginkan berdasarkan dari luasan area tersebut. *Morphopological Filtering* dilakukan dengan memberikan nilai batas antara sperma dengan *noise*. Area yang nilainya berada dibawah nilai threshold dianggap *noise* dan dihilangkan, sedangkan area yang ukurannya lebih dari atau sama dengan nilai threshold dilewatkan atau tidak dihilangkan. Pada Algoritma 2 berikut ini merupakan algoritma untuk menghilangkan area yang tidak diinginkan.

Algoritma 2 Morphological Filtering

```
1: Function hapusarea {Menghilangkan area}
2: area = double {area terdeteksi foreground}
3: batas = double {batas nilai area yang dihilangkan}
4: for i=0 to banyakframe-1 do
5:   if area <= batas then
6:     hapusarea(area[i])
7:   end if
8: end for
```

Hasil dari proses ini dapat dilihat pada Gambar 3.12. Dalam gambar tidak lagi tampak titik-titik putih kecil karena telah dihilangkan dengan proses *morphological filtering*.



Gambar 3.12: Hasil *morphological filtering*

3.3.5 Gap Filling

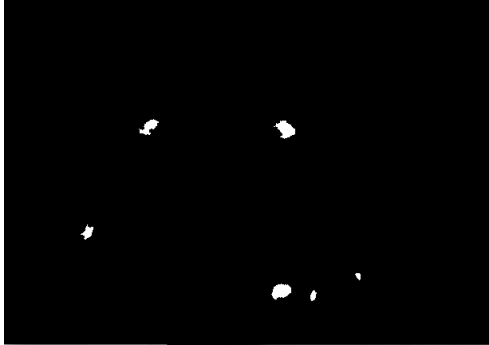
Gap Filling dilakukan untuk menyatukan objek yang jaraknya berdekatan atau berada dalam satu area, menggunakan proses *closing*. *Closing* merupakan operasi morfologi citra yang dilakukan dengan cara operasi dilasi dilanjutkan dengan operasi erosi. Dilasi adalah operasi morfologi untuk membuat ukuran citra lebih tebal sedangkan erosi untuk membuat ukuran citra lebih tipis. Tujuan dari proses *closing* ini adalah menyambung objek yang terputus dan menutup lubang-lubang kecil pada objek. Hal ini dilakukan agar saat

dilakukan penjejakan mendapatkan jumlah sel sperma yang akurat. Algoritma proses *gap filling* tersaji dalam Algoritma 3.

Algoritma 3 Gap Filling

```
1: Function dilate {Menebalkan tepi area}
2: Function erode {Menipiskan tepi area}
3: banyakframe = int {jumlah frame dalam video}
4: banyakarea = int {jumlah area dalam frame}
5: for i=0 to banyakframe-1 do
6:   for i=0 to banyakarea-1 do
7:     dilate(area[i])
8:     erode(area[i])
9:   end for
10: end for
```

Hasil dari proses *gap filling* dengan metode *closing* ini terlihat seperti pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13: Hasil *Gap Filling*

3.3.6 Mencari dan Menyimpan Posisi Sperma Terdeteksi

Berdasarkan area-area yang telah diperoleh sebagai area yang dianggap sperma, kemudian dicari posisi tiap-tiap area ini dalam koordinat (x,y). Caranya dengan menggunakan momen(*moment*).

Momen dapat menggambarkan suatu objek dalam hal area, posisi, orientasi dan parameter terdefinisi lainnya. Persamaan dasar dari momen suatu objek didefinisikan sebagai berikut:

$$m_{ij} = \sum_x \sum_y x^i y^j a_{xy} \quad (3.1)$$

Dengan :

i,j = Orde dari momen

x,y = Koordinat titik

a_{xy} = Intensitas titik

Momen tingkat ke-0 dan ke-1 (*zero-and first-order moments*) didefinisikan sebagai berikut.

$$m_{00} = \sum_x \sum_y a_{xy} \quad (3.2)$$

$$m_{10} = \sum_x \sum_y x a_{xy}$$

$$m_{01} = \sum_x \sum_y y a_{xy}$$

Pada citra biner yang mana a_{xy} akan bernilai 0 atau 1, momen tingkat ke-0 (m_{00}) sama dengan area dari objek. Pusat dari area atau massa (*centroid*) adalah parameter yang baik untuk menyatakan lokasi dari objek. Pusat area ini yang digunakan untuk menentukan posisi sperma terdeteksi dalam (x,y). Pusat area dari objek didefinisikan sebagai berikut.

$$x' = \frac{m_{10}}{m_{00}} \text{ dan } y' = \frac{m_{01}}{m_{00}} \quad (3.3)$$

Dengan (x',y') merupakan pusat koordinat dari objek[14].

Posisi koordinat x dan y yang diperoleh dijadikan titik tengah dari lingkaran ini dan dari titik tengah ini kemudian digambar lingkaran merah untuk menandai area spermatozoa terdeteksi dalam tiap *frame* video masukan. Pada gambar 3.14 tersaji tampilan proses penjejakan dalam aplikasi, untuk memulai penjejakan dengan menekan tombol Mulai Penjejakan. Hasil dari tahapan ini seperti pada

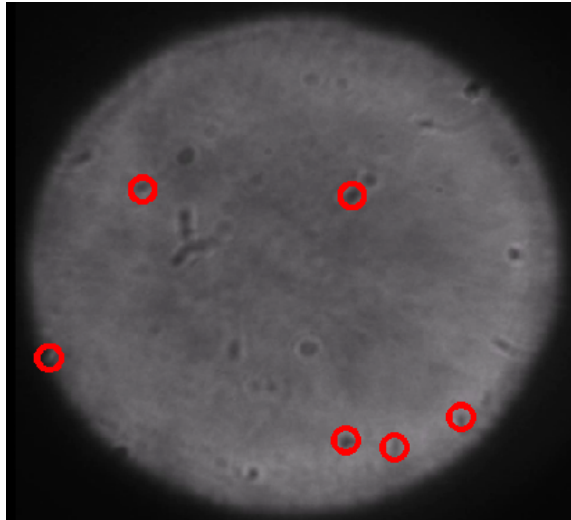
gambar 3.14, gambar tersebut menunjukkan salah satu *frame* dalam video yang telah didapatkan posisi spermatozoa terdeteksi. Posisi koordinat dari area-area yang dianggap sebagai spermatozoa yang didapatkan kemudian disimpan dalam *file* yang untuk digunakan dalam menentukan jalannya sperma dari satu *frame* ke *frame* berikutnya berdasarkan kedekatan dari posisi tiap sperma. Setiap satu *frame* disimpan dalam satu *file* teks, kemudian koordinat dalam *frame* berikutnya disimpan dalam *file* teks lain. Tujuannya adalah untuk memudahkan penentuan jalur yang dilalui sperma dari satu *frame* ke *frame* berikutnya. Pada Algoritma 4 ini, merupakan algoritma dalam dari tahapan untuk menyimpan posisi setiap sperma terdeteksi.

Algoritma 4 Simpan Posisi Sperma

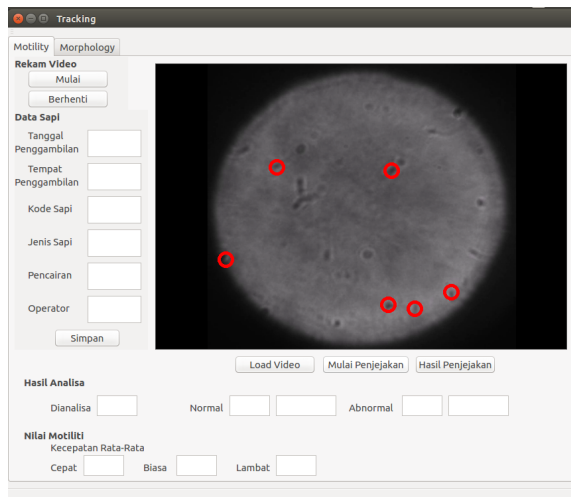
```

1: Function getXpos (input area : Mat, output X :
   Mat){Mendapatkan posisi suatu objek dalam sumbu x}
2: Function getYpos (input area : Mat, output Y :
   Mat){Mendapatkan posisi suatu objek dalam sumbu y}
3: Function simpanKoordinat {Menyimpan koordinat (x,y) suatu
   objek kedalam file}
4: banyakarea = int {jumlah area dalam frame}
5: objekditemukan = boolean {nilai yang digunakan untuk perca-
   bangan}
6: threshold = int {batas ukuran area yang dianggap sperma ter-
   deteksi}
7: for i=0 to banyakarea-1 do
8:   if area[i]>=threshold then
9:     getXpos (area[i])
10:    getYpos (area[i])
11:    objekditemukan = true
12:   else
13:     objekditemukan = false
14:   end if
15:   if objekditemukan==true then
16:     simpanKoordinat (X,Y)
17:   end if
18: end for

```



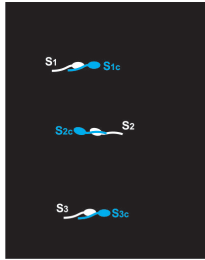
Gambar 3.14: Posisi sperma terdeteksi dintandai lingkaran merah



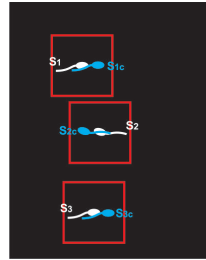
Gambar 3.15: Posisi sperma terdeteksi dintandai lingkaran merah

3.3.7 Penjejakan Dengan Algoritma Matching-Based

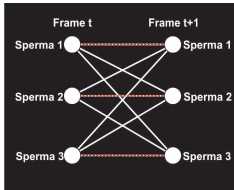
Matching-based merupakan algoritma untuk mencari kesamaan terbesar dari beberapa titik berdasarkan nilai kesamaan terbesar dari titik-titik yang dicari. Titik disini merupakan koordinat (x,y) yang telah didapatkan dalam proses sebelumnya. Dalam algoritma *matching-based* hubungan antar titik dari satu *frame* ke *frame* berikutnya dicari Kesaamaan terbesarnya dengan menghitung jarak satu titik dalam *frame* awak ke semua *frame* berikutnya, kemudian dicari titik dalam *frame* berikutnya yang mempunyai kesamaan terbesar atau jarak euclidean-nya paling kecil, seperti yang telah dijelaskan pada Tinjauan Pustaka bagian 2.11. Namun untuk mengurangi perhitungan maka diberikan batasan area atau Region Of Interest dalam setiap spermatozoa yang dicari pergerakannya. Ilustrasi dalam graf dapat dilihat dalam Gambar 3.16.



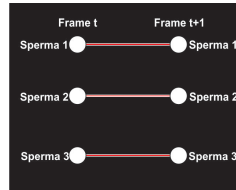
(a) Pencarian hubungan antar *frame* tanpa ROI



(b) Pencarian hubungan antar *frame* dengan ROI



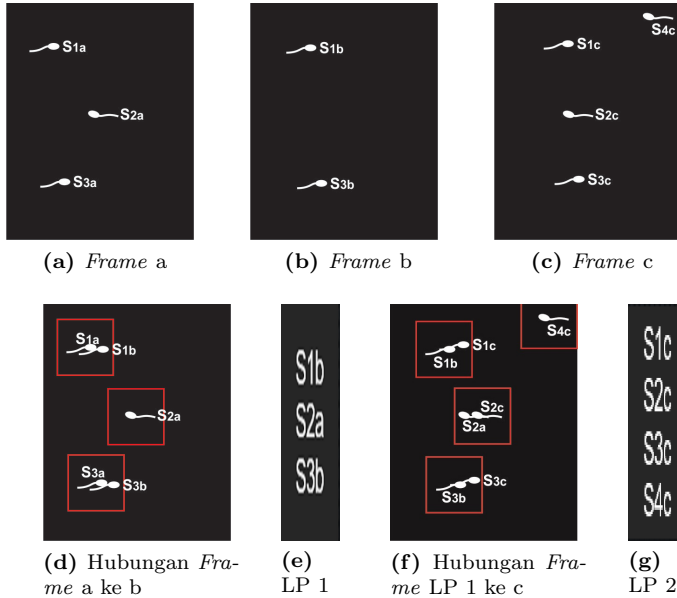
(c) Graf hubungan tanpa ROI



(d) Graf hubungan dengan ROI

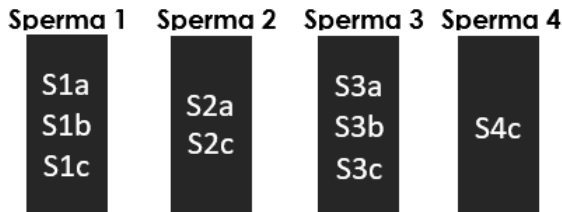
Gambar 3.16: Perbandingan pencarian hubungan antar *frame* tanpa ROI dan dengan ROI

Dalam Gambar 3.16a, merupakan pencarian hubungan spermatozoa dari *frame* awal yang digambarkan dengan warna putih ke *frame* berikutnya yang digambarkan dengan warna biru, tanpa menggunakan ROI. Hubungan yang terbentuk dari proses pencarian ini terlihat pada Gambar 3.16b. Dalam gambar hubungan jarak yang terbentuk digambarkan dengan garis berwarna putih, sedangkan jarak dengan kemungkinan terbesar digambarkan dengan garis berwarna merah. Terlihat bbanyak hubungan yang dibentuk dalam menentukan kemungkinan pergerakan dengan cara ini. Namun jika diberikan batasan ROI dalam posisi spermatozoa yang dicari kemungkinan pergerakannya maka hubungan yang terjadi hanya posisi spermatozoa yang ada dalam ROI saja, ilustrasinya dapat dilihat dalam Gambar 3.16c. Sehingga jika hanya ada satu posisi di *frame* berikutnya yang masuk dalam ROI spermatozoa yang dicari posisinya, dapat langsung ditemukan kemungkinan pergerakannya, seperti pada Gambar 3.16d.



Gambar 3.17: *Frame-frame* menunjukkan perpindahan spermatozoa

Selain menggunakan ROI, dalam penjejakan dalam penelitian ini juga menggunakan last point (LP) sebagai posisi yang dicari kemungkinan pergerakannya ke *frame* berikutnya. Misalnya dari 3 *frame* seperti pada Gambar 3.17. Dari setiap sperma yang terdeteksi dalam *frame* a pada Gambar 3.17a, dicari hubungan yang menunjukkan kemungkinan pergerakan ke *frame* b. Berdasarkan ROI setiap sperma *frame* a, sperma 1 dan sperma 3 memiliki kemungkinan pergerakan dalam *frame* b. Kemungkinan pergerakan dari *frame* a ke b yang didapat adalah s1a ke s2b dan s3a ke s3b sedangkan s2a tidak memiliki pasangan dalam *frame* b. Setiap hubungan yang terbentuk ini disimpan sebagai jalur yang dilalui setiap spermatozoa terdeteksi dan posisi terakhir dari setiap hubungan yang terbentuk digunakan sebagai acuan untuk membandingkan ke *frame* berikutnya. Posisi terakhir yang terbentuk dari *frame* a ke b, terlihat dalam Gambar 3.17e. Last point (LP) 1 ini dibandingkan dengan *frame* c maka akan terbentuk hubungan seperti pada Gambar 3.17f dan last point (LP) yang terbentuk terlihat pada Gambar 3.17g. Sedang jalur yang didapatkan tersaji dalam Gambar 3.18. Karena dari *frame* a ke *frame* c ada 4 sperma terdeteksi maka terbentuk 4 jalur dengan masing-masing hubungan pergerakan posisi dari *frame* a ke c.



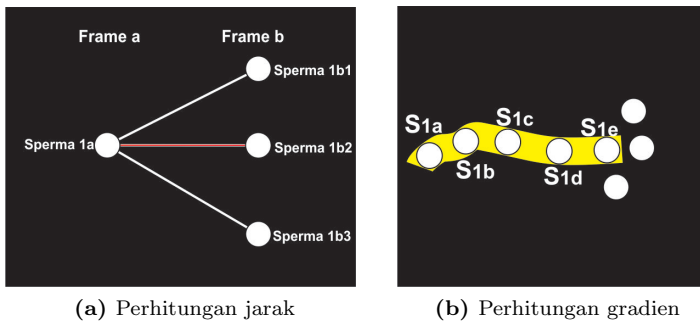
Gambar 3.18: Gambaran umum desain sitem

Namun jika dalam ROI suatu sperma terdapat lebih dari satu kemungkinan posisi pergerakan seperti Gambar 3.19, maka dilihat jarak dan nilai gradiennya.



Gambar 3.19: Beberapa kemungkinan dalam satu ROI

Jika terdapat titik yang bertemu lebih dari satu kemungkinan, maka dilihat dalam jalur yang terbentuk atau jalur yang telah disimpan. Jika dalam jalur titik tersebut tidak memiliki titik sebelumnya atau titik yang menemui banyak kemungkinan adalah titik pertama maka titik berikutnya dipilih titik dengan jarak yang memiliki kesamaan terbesar atau memiliki jarak perpindahan paling kecil, seperti Gambar 3.20a. Sedang jika dalam jalur titik tersebut memiliki titik sebelumnya maka dilihat rata-rata gradien dari titik-titik sebelumnya yang ada. Nilai rata-rata ini dibandingkan dengan nilai gradien tiap-tiap titik yang ada dalam ROI sperma yang dicari pergerakannya dan dipilih gradien yang memiliki kesamaan terbesar, ilustrasinya dapat dilihat dalam Gambar 3.20b.



Gambar 3.20: Penentuan kemungkinan pergerakan sperma berdasarkan jarak dan gradien

Algoritma 5 Penentuan Jalur Sperma Terdeteksi

```
1: Function simpan {Menyimpan titik kordinat x dan y}
2: Function updateLastpoint {Memperbarui nilai last point berda-
   sarkan nilai terakhir dalam setiap jalur terbentuk}
3: Function hitungtitikjalur {jumlah koordinat (x,y) dalam jalur}
4: Function inROI {memberikan batasan ROI pada suatu titik}
5: Function inROI {memberikan batasan ROI pada suatu titik}
6: Function euclidean {menghitung jarak antar titik}
7: Function rata2gradien {menghitung rata-rata gradien}
8: Function terdekat {mencari nilai yang paling sesuai}
9: titikframe = int {kordinat (x,y) dalam setiap frame}
10: titikjalur = int {kordinat (x,y) dalam setiap jalur}
11: LP = array {last point tiap jalur}
12: LP = titikframe[0]
13: for i=2 to banyakframe do
14:   for j=0 to banyaklastpoint do
15:     for k=0 to banyaktitikframe do
16:       if titikframe[k].inROI(LP[j]) then
17:         titikROI=titikROI+1
18:         simpan(titikframe[k])
19:       end if
20:     end for
21:     if titikROI==1 then
22:       simpan(titikjalur[j])
23:       updatelastpoint()
24:     else
25:       jmltitikjalur ==hitungtitikjalur(j)
26:       if jmltitikjalur<2 then
27:         for l=0 to titikROI do
28:           jrk=euclidean(titikframe(l),LP(j))
29:           if jrk==jarakterkecil then
30:             simpan(titikjalur[j])
31:             updatelastpoint()
32:           end if
33:         end for
```

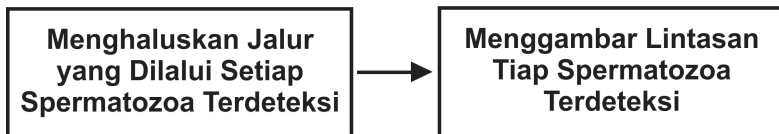
```

34:         else
35:             grad=rata2gradien(titikjalur)
36:             batasbawah=grad-batas
37:             batasbawah=grad-batas
38:             if titikframe(m).terdekat(grad) then
39:                 simpan(titikjalur[j])
40:                 updatelastpoint()
41:             end if
42:         end if
43:     end if
44: end for
45: end for

```

3.4 Pembuatan Lintasan Pergerakan Sperma

Dalam pembuatan lintasan pergerakan tiap spermatozoa terdeteksi dalam video ada dua tahapan yang dapat dilihat pada Gambar 3.21:



Gambar 3.21: Alur Pembuatan Lintasan Spermatozoa

3.4.1 Menghaluskan Jalur yang Dilalui Setiap Spermatozoa Terdeteksi

Untuk memperoleh hasil gambar jalur yang mudah diamati maka diperlukan penghalusan dari titik-titik pada *file text* jalur hasil tahapan berikutnya. Jika tidak dihaluskan hasil gambar jalur yang terbentuk terlihat kasar dan berliku-liku. Cara menghaluskan garis jalur ini adalah dengan menggunakan metode *mean smoothing* 1 dimensi. Persamaan untuk melakukan *mean smoothing* ini seperti pada persamaan 2.5. *Mean smoothing* menghaluskan garis dengan cara mencari rata-rata dari nilai titik-titik yang tersimpan dalam *file text* hasil tahapan sebelumnya [10], rata-rata yang dicari bukan dari semua titik dalam file karena jika dari semua titik maka hanya

akan didapatkan satu nilai titik saja sedangkan untuk menggambar garis diperlukan paling tidak dua titik. Dalam menghitung rata-rata perlu memperhatikan banyaknya titik yang dicari nilai rata-ratanya, jika jumlah titik yang dirata-rata terlalu sedikit maka hasil jalurnya akan tampak tidak jauh berbeda dengan jalur awal, sedangkan jika terlalu banyak hasil jalurnya menjadi jauh berbeda dengan jalur awal. Dalam penelitian ini rata-rata yang dicari adalah dari setiap 15 titik koordinat. Algoritma untuk menngaluskan jalur ini tersaji pada Algoritma 6.

Algoritma 6 Mean Smoothing

```

1: Function jumlah15nilaix (input x1+x2+...+x15 : int, output x
   : int) {Menjumlahkan 15 titik koordinat x}
2: Function jumlah15nilaiy (input y1+y2+...+y15 : int, output y
   : int) {Menjumlahkan 15 titik koordinat y}
3: Function simpanxbaruybaru {Menyimpan nilai x baru dan y
   baru}
4: jumlah = int {banyaknya titik x dan y}
5: for i=0 to jumlah do
6:   xbaru=jumlah15nilaix/15
7:   ybaru=jumlah15nilaiy/15
8:   simpanxbaruybaru
9: end for

```

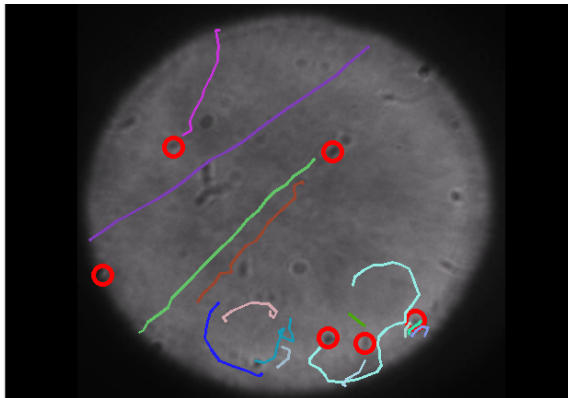
3.4.2 Menggambar Lintasan Tiap Spermatozoa Terdeteksi

Lintasan yang dilalui oleh tiap spermatozoa terdeteksi dalam video digambar berdasarkan titik-titik dalam *file* hasil dari tahapan sebelumnya. Gambar garis dibuat dari titik berdasarkan koordinat x dan y dalam dalam *file* hasil *mean smoothing*. Koordinat pertama dalam *file* menjadi titik awal gambar garis kemudian disambung ke titik selanjutnya hingga terbentuk lintasan yang dilalui oleh spermatozoa terdeteksi dalam video.

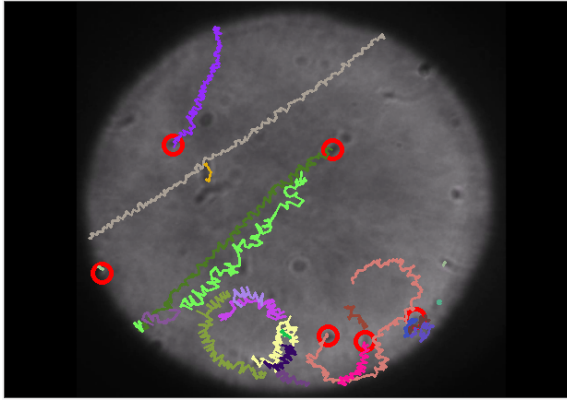
Algoritma 7 Penggambaran Lintasan

- 1: Function bacafile (input : file text, output : array berisi nilai titik x dan y) {Membaca file text dari hasil tahapan sebelumnya}
 - 2: Function gambargaris(input :(Xawal,Yawal),(Xakhir,Yakhir), output : bentuk garis) {Menggambar garis dari (Xawal,Yawal) hingga (Xakhir,Yakhir)}
 - 3: arr = array[1000] array untuk menyimpan titik x dan y
 - 4: arr = bacafile
 - 5: **for** i=3 to n-1, i=i+4 **do**
 - 6: gambargaris((arr[i-3],arr[i-2]),(arr[i-1],arr[i]))
 - 7: **end for**
-

Dari Algoritma 7 diatas, maka tergambar lintasan-lintasan yang dilalui setiap spermatozoa bergerak dalam video. Banyak lintasan yang terbentuk jumlahnya sesuai dengan banyak jumlah file dari tahapan penjejak sebelumnya. Ilustrasi bentuk lintasan pergerakan spermatozoa yang dihasilkan dalam proses ini dapat dilihat pada gambar 3.22, sedangkan gambar 3.23 merupakan bentuk lintasan jika tidak menggunakan proses mean smoothing. Dalam hasil terlihat bahwa setiap gambar lintasan yang terbentuk diberi warna yang berbeda-beda untuk membedakan lintasan yang satu dengan yang lain.



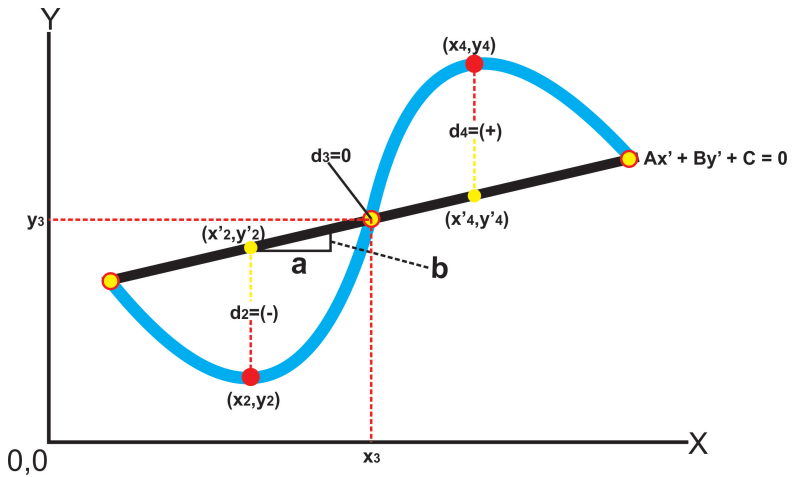
Gambar 3.22: Hasil jalur pergerakan sperma dengan *mean smoothing*



Gambar 3.23: Hasil jalur pergerakan sperma tanpa *mean smoothing*

3.5 Penentuan Abnormalitas Pergerakan Spermtozoa

Salah cara untuk menentukan normal atau tidaknya suatu sel spermatozoa adalah dengan cara melihat jalur pergerakan spermatozoa tersebut. Apabila spermatozoa bergerak dalam jalur yang lurus atau terarah maka spermatozoa tersebut tergolong spermatozoa yang normal. Sedangkan jika jalur yang dilalui spermatozoa berbelok dan berputar-putar atau bergerak dalam suatu pola lingkaran maka spermatozoa tersebut tidak normal[2]. Oleh karena itu dalam sistem ini harus dapat membedakan garis mana yang arahnya lurus dan garis yang melingkar atau yang tidak beraturan. Dalam program untuk dapat membedakan apakah jalur yang dilalui spermatozoa merupakan jalur normal atau abnormal cara yang digunakan adalah dengan mencari jarak *perpendicular* tiap koordinat (x,y) dalam lintasan terhadap garis lurus dan dengan nilai tersebut kemudian dicari nilai *root mean square error* (RMSE). RMSE adalah nilai rata-rata dari jumlah kuadrat kesalahan, jika nilai RMSE rendah maka variasi nilai yang dihasilkan oleh suatu model prakiraan atau dalam hal ini lintasan spermatozoa yang dianalisis mendekati variasi nilai observasinya atau nilai garis lurus $ax' + by' + c = 0$. Ilustrasi hubungan antara titik-titik dalam jalur dengan titik-titik dalam garis regresi dapat dilihat pada Gambar 3.24.



Gambar 3.24: Diagram alur penentuan normalitas pergerakan sperma-
tozoa

Untuk mendapatkan garis lurus sebagai pembanding dengan jalur yang dicari abnormalitasnya digunakan persamaan garis lurus pada umumnya, seperti persamaan 3.4:

$$Ax' + By' + C = 0 \quad (3.4)$$

Dimana :

x' = posisi titik di sumbu x dalam garis lurus

y' = posisi titik di sumbu y dalam garis lurus

A = koefisien x

B = koefisien y

C = konstanta

Nilai A,B dan C dalam persamaan 3.4 diperoleh dari persamaan 2.1, dengan memasukan nilai a dalam persamaan 2.2 dan b dalam persamaan 2.2. Persamaan yang terbentuk menjadi seperti berikut:

$$y' = \left(\frac{(\Sigma y)(\Sigma x^2) - (\Sigma x)(\Sigma xy)}{n(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2} \right) + \left(\frac{n(\Sigma xy) - (\Sigma x)(\Sigma y)}{n(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2} \right) x' \quad (3.5)$$

$$y' (n(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2) = ((\Sigma y)(\Sigma x^2) - (\Sigma x)(\Sigma xy)) + (n(\Sigma xy) - (\Sigma x)(\Sigma y)) x'$$

$$y' (n(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2) - (n(\Sigma xy) - (\Sigma x)(\Sigma y)) x' - ((\Sigma y)(\Sigma x^2) - (\Sigma x)(\Sigma xy)) = 0$$

$$((\Sigma x)(\Sigma y) - n(\Sigma xy)) x' + (n(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2) y' + ((\Sigma x)(\Sigma xy) + (\Sigma y)(\Sigma x^2)) = 0$$

Dengan persamaan diatas maka dapat ditulis ulang menjadi seperti persamaan 3.4 dengan :

$$A = ((\Sigma x)(\Sigma y) - n(\Sigma xy)) \quad (3.6)$$

$$B = (n(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2) \quad (3.7)$$

$$C = ((\Sigma x)(\Sigma xy) + (\Sigma y)(\Sigma x^2)) \quad (3.8)$$

Dimana :

x = posisi titik di sumbu x dalam jalur spermatozoa

y = posisi titik di sumbu y dalam jalur spermatozoa

Berdasarkan nilai A,B dan C ini dapat dicari persamaan garis lurus yang didalamnya terdapat titik titik koordinat (x',y') sebagai pembanding dengan titik-titik koordinat (x,y) dalam lintasan yang terbentuk. Lintasan dianggap normal jika bentuk garisnya mendekati bentuk garis lurus dengan kata lain jarak tegak lurus *perpendicular* dari setiap titik (x,y) dalam lintasan yang dilalui oleh suatu spermatozoa terhadap garis lurus $ax' + by' + c = 0$ bernilai kecil atau jika dihitung nilai *root mean square error* (RMSE) mendekati 0. Sedangkan lintasan akan dianggap abnormal apabila nilai jarak *perpendicular* dari tiap titik-titik dalam lintasan dengan garis lurus $ax' + by' + c = 0$ bernilai besar atau jika dihitung nilai

RMSE-nya juga bernilai besar. Persamaan untuk menghitung jarak antara titik-titik dalam lintasan dengan titik-titik dalam garis lurus pembanding adalah sebagai berikut [15]:

$$d = \frac{|Ax + By + C|}{\sqrt{A^2 + B^2}} \quad (3.9)$$

Dengan persamaan 3.9 maka akan didapatkan $d1$ dari titik $(x1,y1)$, $d2$ dari titik $(x2,y2)$, $d3$ dari titik $(x3,y3)$ dan seterusnya hingga dn dari titik (xn,yn) . Dimana n merupakan jumlah koordinat (x,y) dalam lintasan spermatozoa yang dianalisis abnormalitas pergerakannya. Dari nilai $d1, d2, d3, \dots, dn$ yang diperoleh kemudian dicari nilai *root mean square error* (RMSE) dengan persamaan 3.10. [16] Berdasarkan besarnya nilai RMSE ini yang digunakan untuk menentukan normal atau tidaknya suatu jalur pergerakan spermatozoa.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum d^2} \quad (3.10)$$

Penerapan kedalam program dari persamaan-persamaan diatas untuk melakukan proses penentuan abnormalitas lintasan yang dilalui tiap-tiap spermatozoa terdeksi dalam video masukan, dapat dilihat pada Algoritma 8.

Algoritma 8 Penentuan Abnormalitas

- 1: Function jumlahx (input $x1+x2+\dots+xn$: int, output sx : duoble) {Menjumlahkan semua nilai titik sumbu x}
 - 2: Function jumlahy (input $y1+y2+\dots+yn$: int, output sy : duoble) {Menjumlahkan semua nilai titik sumbu y}
 - 3: Function jmlxkuadrat (input $x1^2+x2^2+\dots+xn^2$: int, output $sx2$: duoble) {Menjumlahkan semua nilai x kuadrat}
 - 4: Function jumlahxy (input $x1*y1+x2*y2+\dots+xn*yn$: int, output sxy : duoble) {Menjumlahkan semua nilai $x*y$ }
 - 5: Function hitungABC {Menghitung nilai A,B dan C dalam $Ax'+By'+C$ dengan persamaan 3.6, 3.7, dan 3.8}
 - 6: Function hitungd {Menghitung jarak perpendicular dengan persamaan 3.9}
-

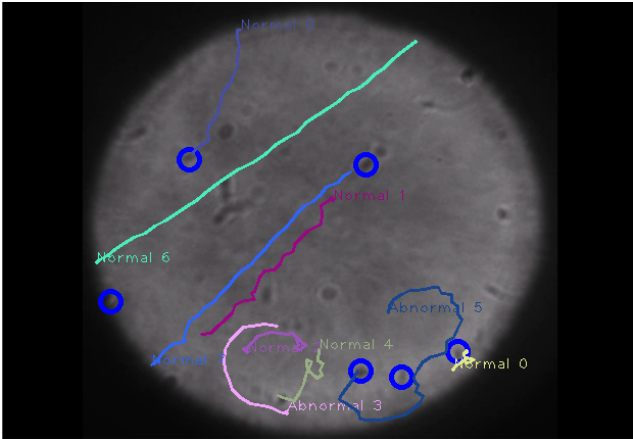
```

7: Function hitungjumlahd {Menghitung jumlah jarak perpendi-
   cular }
8: Function hitungRMSE {Menghitung nilai RMSE dengan persa-
   maan 3.10}
9: n = int {banyaknya titik x dan y}
10: nj = int {banyaknya lintasan sperma}
11: batasnormal = int {batas nilai RMSE untuk jalur normal}
12: for j=1 to nj do
13:   for i=1 to n do
14:     sx= jumlahx
15:     sy = jumlahy
16:     sx2 = jmlxkuadrat
17:     sxy = jumlahxy
18:   end for
19:   hitungABC(sx,sy,sx2,sxy,n)
20:   hitungd(A,B,C,x,y)
21:   rmse = hitungRMSE(jumlahd,n)
22:   if rmse <= batasnormal then
23:     jalur[i]normal
24:   else
25:     if rmse > batasnormal then
26:       jalur[i]tidaknormal
27:     end if
28:   end if
29: end for

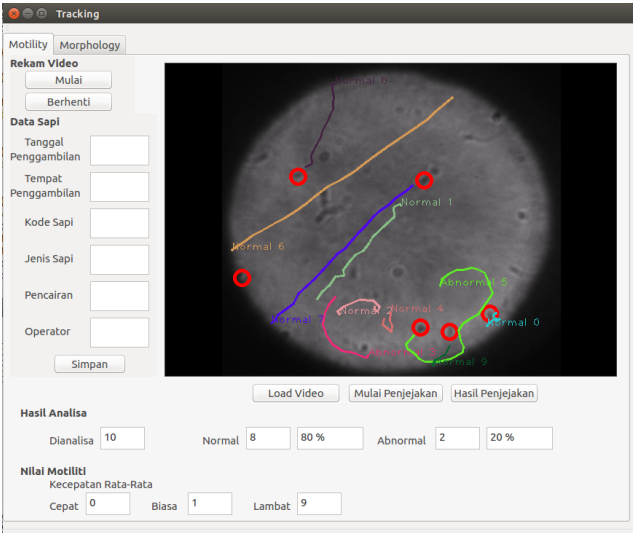
```

Hasil dari tahapan ini berupa gambar lintasan setiap spermatozoa terdeteksi dalam video yang digambarkan dengan warna berbeda-beda, setiap jalur yang dilalui diberikan keterangan berupa tulisan jalur normal atau tidak normal. Selain itu dalam aplikasi juga ada hasil berupa keterangan yang menunjukkan banyak jumlah jalur spermatozoa yang dianalisa, banyak jumlah jalur yang normal dan banyak jumlah jalur yang tidak normal. Ilustrasi dari hasil proses ini dapat dilihat pada gambar 3.25. Dalam aplikasi, proses penentuan abnormalitas ini menjadi satu proses dengan pembuatan lintasan. Dari lintasan yang tergambar kemudian dianalisa arah pergerakannya untuk menentukan pergerakan dalam lintasan tersebut

normal atau abnormal, dengan menekan tombol Hasil Penjejakan. Ilustrasi aplikasi dalam proses ini, seperti pada Gambar 3.26.



Gambar 3.25: Hasil penentuan normalitas pergerakan spermatozoa



Gambar 3.26: Hasil penentuan normalitas pergerakan spermatozoa

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

PENGUJIAN DAN ANALISA

Pada bab ini dilakukan pengujian penjejukan sperma pada beberapa video hasil perekaman semen sapi.

4.1 Metode Pengujian

Pada penelitian ini, pengujian dilakukan menggunakan beberapa video hasil perekaman semen sapi dengan menggunakan perbedaan jumlah *frame per second* (fps) dan pengenceran semen pada saat proses pengambilan video. Video semen yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

1. Video dengan perbedaan jumlah fps

- (a) Video dengan 15 fps
Video semen sapi direkam menggunakan kamera Point Grey Flea3 dengan kecepatan kamera 15 fps, artinya setiap satu detik jumlah gambar yang direkam sebanyak 15 gambar.
- (b) Video dengan 30 fps
Proses perekaman semen sapi dilakukan dengan menggunakan kecepatan kamera 30 fps, artinya setiap satu detik jumlah gambar yang direkam sebanyak 30 gambar.

2. Video dengan perbedaan pengenceran semen beku

- (a) Video dengan pengenceran 1:5
Dalam pengambilan video semen sapi beku dilakukan pengenceran dengan perbandingan sebesar 1:5 antara semen sapi dengan cairan pengencer, artinya jika menggunakan 1 tetes cairan semen maka cairan pengencer yang digunakan sebanyak 5 tetes.
- (b) Video dengan pengenceran 1:10
Pengambilan video dilakukan pada semen sapi beku yang diencerkan menggunakan perbandingan 1:10 antara cairan sperma dengan cairan pengencer, artinya jika meng-

gunakan 1 tetes cairan sperma maka cairan pengencer yang digunakan sebanyak 10 tetes.

Berdasarkan video masukan dengan perbedaan jumlah fps dan pengenceran semen, disajikan hasil pengujian dalam tabel beserta nilai akurasi hasil proses penjejakan dan penentuan abnormalitas jalur. Nilai akurasi penentuan jalur dihitung berdasarkan jumlah jalur yang benar dijejakan dengan jalur yang sebenarnya atau jumlah jalur hasil perhitungan secara manual. Berikut adalah rumus untuk mencari akurasi penjejakan dalam persen (%):

$$Akurasi = (1 - galat) \times 100 \quad (4.1)$$

Dimana:

$$Galat = \frac{nilaisebenarnya - nilaihasilpenjejakan}{nilaisebenarnya} \quad (4.2)$$

Sedang nilai akurasi penentuan abnormalitas dihitung berdasarkan nilai nilai *True Positive* (TP) yaitu jalur yang benar diidentifikasi sebagai jalur normal, *True Negatif* (TN) yaitu jalur yang benar diidentifikasi sebagai jalur tidak normal, *False Positif* (FP) yaitu jalur yang salah diidentifikasi sebagai jalur normal dan *False Negatif* (FN) yaitu jalur yang salah diidentifikasi sebagai jalur tidak normal. Persamaan untuk mencari tingkat akurasi penentuan abnormalis jalur adalah sebagai berikut[17]:

$$Akurasi = \frac{TP + TN}{P + N} \quad (4.3)$$

Dimana :

$$P = TP + FN$$

$$N = FN + TN$$

4.2 Video Dengan Perbedaan Jumlah FPS

Perbedaan jumlah fps pada proses perekaman video semen sapi dilakukan untuk mendapatkan perbedaan kecepatan pergerakan spermatozoa serta perbedaan jarak perpindahan spermatozoa dari

satu frame ke frame berikutnya. Semakin besar jumlah fps menghasilkan video perekaman yang semakin mendekati kondisi pergerakan asli, karena semakin banyak jumlah fps semakin banyak pula jumlah gambar yang diambil tiap detik.

4.2.1 Video dengan 15 fps

Video hasil perekaman dengan 15 fps jika diamati pergerakan spermatozoa yang terjadi dalam video terlihat cepat, sehingga perpindahan spermatozoa dari satu frame ke frame berikutnya memiliki jarak yang cukup besar. Hasil pengujian penjejakan spermatozoa menggunakan video masukan dengan kecepatan 15 fps ini dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1: Hasil penjejakan menggunakan video masukan 15 fps

Video	Terjejaki	Sebenarnya	Galat (%)	Akurasi (%)
Video 1	11	14	21.42	78.58
Video 2	8	9	11.11	88.89
Video 3	12	15	20	80
Video 4	8	8	0	100
Video 5	8	8	0	100
Rata-rata akurasi				89.49

Dari 5 video masukan dengan kecepatan perekaman 15 fps yang dilakukan penjejakan terdapat 2 video dengan nilai ketepatan penjejakan 100%, yaitu pada video 4 dan video 5. Dalam kedua video tersebut terdapat 8 spermatozoa yang bergerak dan semuanya berhasil terjejaki dengan menggunakan algoritma *matching based*. Hasil penjejakan pada 3 video lainnya juga memberikan hasil yang cukup bagus nilai galat terbesar terjadi pada video 1, sebesar 24.42 %. Dalam video 1 dari 14 spermatozoa yang ada, terdapat 3 spermatozoa yang gagal diejejaki. Yang berarti 11 spermatozoa lainnya berhasil terjejaki. Rata-rata hasil penjejakan dalam 5 video ini cukup bagus yaitu sebesar 89.49 %. Untuk hasil penentuan jalur dalam 5 video masukan dapat dilihat dalam Tabel 4.2 dan grafiknya dapat dilihat pada Gambar 4.1.

Tabel 4.2: Hasil pentuan abnormalitas menggunakan video masukan 15 fps

Video	TP	FP	TN	FN	Akurasi (%)
Video 1	11	1	0	1	84.61
Video 2	8	0	0	0	100
Video 3	12	3	0	1	75
Video 4	8	2	0	0	80
Video 5	7	0	0	0	88.89
Rata-rata akurasi					85.70



Gambar 4.1: Hasil penjejukan dengan video 15fps

Dari Gambar 4.1 terlihat bahwa program berjalan cukup baik dalam menentukan abnormalitas jalur pada 5 video dengan kecepatan perekaman 15 fps. Dalam grafik terlihat jumlah nilai TP yang ditunjukkan oleh warna biru muda, memiliki nilai yang cukup tinggi. Hal ini menunjukan bahwa penjejukan yang menghasilkan jalur normal banyak yang benar jika diterapkan pada video dengan kecepatan 15 fps. Meskipun ada beberapa kesalahan dalam menentukan jalur normal yang ditunjukkan dengan warna merah muda, tapi nilainya tidak begitu besar. Hal lain yang menunjukkan ini adalah nilai

rata-rata akurasi yang besar terlihat pada Tabel 4.2, yaitu sebesar 85%. Kesalahan dalam menentukan jalur abnormal hampir tidak ada kesalahan. Terlihat dalam Gambar 4.1 nilai FN atau nilai jalur abnormal yang salah diidentifikasi, nilai terbesarnya adalah 1. Meski nilai TN atau nilai jalur abnormal yang benar diidentifikasi juga hanya 1. Namun hasil rata-rata akurasi penjejakan masih tergolong baik, karena memang tidak banyak jalur abnormal pada 5 video masukan.

4.2.2 Video dengan 30 fps

Jika diamati hasil perekaman dengan 30 fps ini pergerakan spermatozoa terlihat lebih lambat dibandingkan dengan pergerakan spermatozoa yang terjadi dalam video hasil perekaman dengan 15 fps. Jarak perpindahan spermatozoa dari satu frame ke frame berikutnya juga lebih kecil. Setelah dilakukan penjejakan dengan algoritma *matching-based* pada 5 video dengan kecepatan 30 fps, hasil penjejakan tersaji seperti pada tabel 4.3.

Tabel 4.3: Hasil penjejakan menggunakan video masukan 30 fps

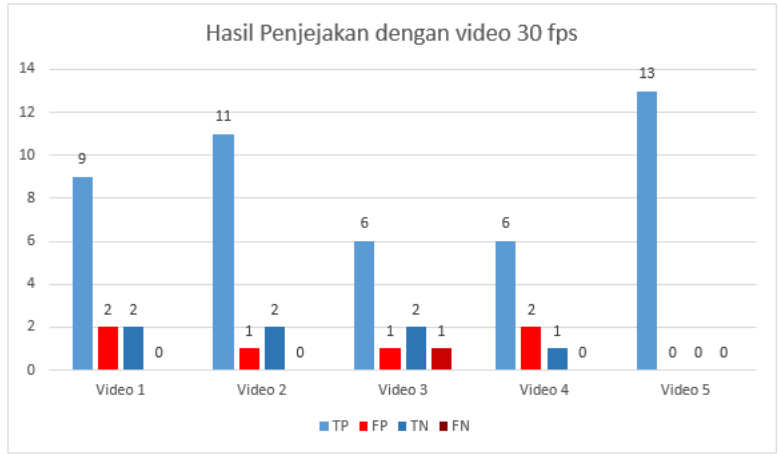
Video	Terjejak	Sebenarnya	Galat	Akurasi
Video 1	8	8	0	100
Video 2	13	14	7.15	92.85
Video 3	8	11	27.27	72.73
Video 4	7	7	0	100
Video 5	13	15	13.33	86.67
Rata-rata akurasi				90.45

Hasil penjejakan spermatozoa pada 5 video dengan kecepatan perekaman 30 fps juga terdapat 2 video yang memiliki akurasi penjejakan 100%. Namun rata-rata hasil penjejakannya lebih bagus jika dibanding dengan video 15 fps, yaitu sebesar 90.45%. Hasil ini terbilang sangat bagus hampir mendekati nilai sempurna. Nilai terendahnya yaitu 72.73% pada video 3. Dalam video tersebut ada 4 spermatozoa bergerak yang gagal dijejak, dari 11 spermatozoa yang ada dalam video. Sedang hasil penentuan abnormalitas tersaji dalam 4.4.

Tabel 4.4: Hasil penentuan abnormalitas menggunakan video masukan 30 fps

Video	TP	FP	TN	FN	Akurasi (%)
Video 1	9	2	2	0	84.61
Video 2	8	0	2	0	92.85
Video 3	6	1	2	1	80
Video 4	6	2	1	0	7,78
Video 5	13	0	0	0	100
Rata-rata akurasi					87.05

Jika hasil penjeakan dengan video masukan 30 fps ini digambarkan dalam bentuk diagram batang maka terlihat seperti Gambar 4.2.



Gambar 4.2: Hasil penjeakan dengan video 30fps

Terlihat dalam gambar tersebut hasil dari penjeakan sperma menggunakan algoritma *matching-based* yang diterapkan pada 5 video dengan kecepatan 30 fps juga menunjukkan nilai yang cukup bagus. Nilai TN dalam grafik berwarna biru muda yang ada dalam grafik mendominasi, menunjukkan bahwa penjeakan jalur yang benar normal hasilnya bagus jika dibanding dengan nilai FP atau

dalam grafik yang berwarna merah cerah. Hasil penentuan jalur abnormal dalam video 30 fps ini lebih baik jika dibandingkan dengan video 15 fps, terlihat dalam Gambar 4.2 nilai TN dalam 4 video masukan lebih besar dari nilai FN, bahkan dalam video 5 memiliki akurasi sebesar 1 atau tidak ada kesalahan penjejakan yang terlihat dalam grafik hasil penjejakan video 5 tidak adanya warna merah tua ataupun merah muda. Sedang hanya dalam 1 video yang nilai TN-nya sama. Hal ini menjadi indikasi bahwa penjajakan dalam video 30 fps berjalan baik dengan nilai rata-rata akurasinya sebesar 87 % lebih bagus dibandingkan video dengan kecepatan perekaman 15 fps.

4.3 Video Dengan Perbedaan Pengenceran Semen Beku

Dengan perbedaan jumlah pengenceran semen sapi beku pada proses pengambilan video ini bertujuan untuk mendapatkan perbedaan jumlah populasi spermatozoa dalam video hasil perekaman. Semakin sedikit cairan pengencer yang digunakan maka didapatkan video dengan jumlah populasi spermatozoa yang semakin banyak. Sedangkan jika cairan pengencer semakin banyak maka populasi spermatozoa yang terekam dalam video akan semakin sedikit. Perbedaan ini dilakukan untuk melihat apakah penjejakan spermatozoa dalam penelitian ini dapat berjalan dengan baik pada video dengan populasi spermatozoa yang sedikit dan pada video dengan populasi spermatozoa yang banyak.

4.3.1 Video dengan pengenceran 1:5

Video yang didapatkan dari hasil perekaman semen sapi beku dengan pengenceran 1:5 antara semen sapi dengan cairan pengencer ini, terlihat ada banyak sperma terekam dalam video. Dalam satu frame sperma yang terekam memiliki jarak yang berdekatan antar satu sperma dengan sperma yang lain, sehingga hal ini meningkatkan kesulitan dalam menganalisa sperma. Terlebih lagi proses perekaman yang dilakukan menggunakan kecepatan 15 fps yang mana jarak perpindahan sperma cukup besar, sehingga menambah tingkat kesulitan dalam melakukan penjejakan video hasil perekaman ini. Pada Tabel 4.5 merupakan tabel hasil penjejakan spermatozoa dalam 5 video masukan.

Tabel 4.5: Hasil penjejakan menggunakan video masukan dengan pengenceran 1:5

Video	Terjeaki	Sebenarnya	Galat	Akurasi
Video 1	30	35	14.29	85.71
Video 2	24	31	22.6	77.4
Video 3	24	35	47.05	52.95
Video 4	24	34	29.42	70.58
Video 5	19	27	29.63	70.37
Rata-rata akurasi				74.53

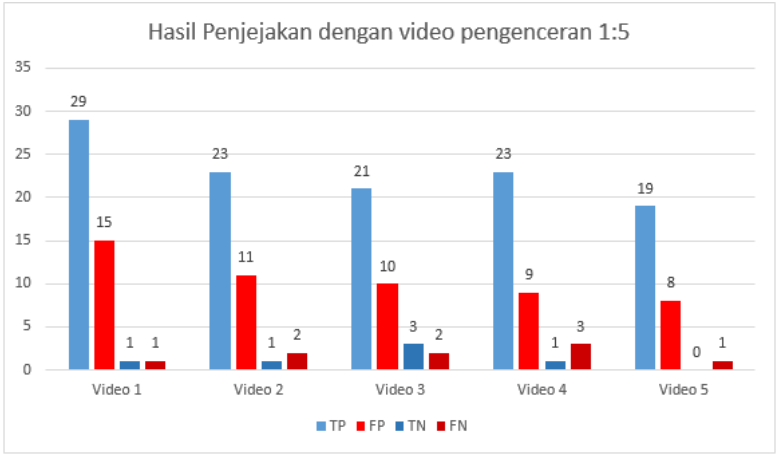
Tabel 4.5 menunjukkan hasil penjejakan pada 5 video masukan dengan pengenceran 1:5 hasil rata-rata akurasinya cukup bagus yaitu 74.53 %. Namun karena dalam video dengan pengenceran 1:5 ini populasi spermatozoa yang ada cukup banyak, maka banyak juga spermatozoa yang gagal dijejak. Pada Tabel 4.6 dapat dilihat hasil penentuan abnormalitas pergerakan dari 5 video masukan dengan pengenceran 1:5.

Tabel 4.6: Hasil penentuan abnormalitas menggunakan video masukan dengan pengenceran 1:5

Video	TP	FP	TN	FN	Akurasi (%)
Video 1	29	15	1	1	65.21
Video 2	23	11	1	2	64.86
Video 3	21	10	3	2	66.67
Video 4	23	9	1	3	66.67
Video 5	19	8	0	1	67.85
Rata-rata akurasi					66.25

Hasil pengujian menggunakan 5 video masukan dengan pengenceran 1:5 ini tidak begitu baik, terlihat pada Gambar 4.3. Dalam grafik terlihat warna merah cukup banyak meskipun tidak mendominasi. Padahal warna merah baik cerah maupun tua menunjukkan kesalahan penentuan jalur dari hasil program. Pada Video 1 misalnya yang memiliki nilai FP terbesar yaitu 15. Namun jika dibandingkan dengan nilai TP yang ada, kesalahan penentuan ja-

lur normal yang terjadi masih terbilang cukup banyak atau lebih dari setengah jalur yang ada salah ditentukan normalitas pergerakan jalurnya. Dalam Tabel 4.6 terlihat hasil perhitungan rata-rata akurasi sebesar 66%. Meskipun tidak terlalu besar nilai rata-rata yang diperoleh, namun hasilnya sudah melebihi 50 % jadi dapat dikatakan program dapat berjalan cukup baik dalam menentukan abnormalitas jalur pada video masukan dengan pengenceran 1:5.



Gambar 4.3: Hasil penjeakan dengan video pengenceran 1:5

4.3.2 Video dengan pengenceran 1:10

Spermatozoa yang terekam dalam video hasil perekaman dengan pengenceran 1:10 ini jika diamati terlihat jumlah sperma yang lebih sedikit dibandingkan dengan video hasil perekaman dengan pengenceran 1:5. Oleh karena itu tingkat kesulitan dalam mengamati video ini lebih rendah jika dibandingkan dengan video dengan pengenceran 1:5, karena jumlah sperma yang terekam sedikit maka proses perhitungan juga berkurang. Hasil penjeakan pergerakan spermatozoa berbasis algoritma *matching-based* pada 5 video masukan dengan pengenceran 1:10 tersaji dalam Tabel 4.7.

Tabel 4.7: Hasil penjejakan menggunakan video masukan dengan pengenceran 1:10

Video	Terjejaki	Sebenarnya	Galat (%)	Akurasi (%)
Video 1	14	14	0	100
Video 2	9	11	18.18	81.82
Video 3	13	14	7.15	92.85
Video 4	4	6	33.33	66.67
Video 5	9	10	10	90
Rata-rata akurasi				86.26

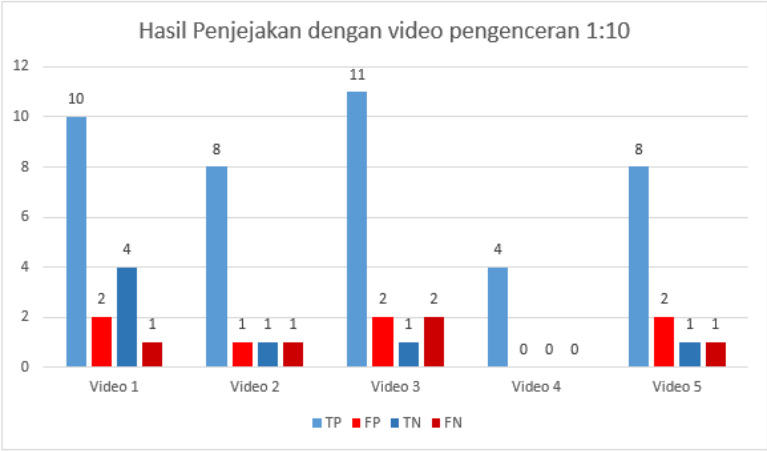
Hasil penjejakan dalam video dengan pengenceran 1:10 dalam tabel 4.7 terlihat lebih bagus jika dibandingkan dengan video pengenceran 1:5. Terlihat nilai rata-rata akurasinya sebesar 86.26 %, atau 11.73 % lebih besar dibanding video pengenceran 1:5. Dari 5 video masukan, terdapat 1 video yang hasil penjejakannya sebesar 100 %. Dalam video 1 terdapat 14 spermatozoa yang bergerak dan semua spermatozoa dalam video 1 dapat terjejaki. Sedang nilai te-kecil pada video 4 dengan akurasi 66.67 %. Meski dalam video 4 hanya gagal menjejaki 2 spermatozoa namun hasil akurasinya tidak besar karena hanya ada 6 spermatozoa yang bergerak dalam video. Hasil penentuan abnormalitas jalur pergerakan terlihat dalam Tabel 4.8.

Tabel 4.8: Hasil penentuan abnormalitas menggunakan video masukan dengan pengenceran 1:10

Video	TP	FP	TN	FN	Akurasi (%)
Video 1	10	2	4	1	82.35
Video 2	8	1	1	1	81.81
Video 3	11	2	1	2	75
Video 4	4	0	0	0	100
Video 5	8	2	1	1	75
Rata-rata akurasi					82.83

Tabel tersebut menunjukkan nilai akurasi hasil penjejakan pada 5 video masukan yang bagus, mulai dari 0.71 hingga 0.83 dengan

nilai rata-rata akurasi yang besar juga yaitu 1. Nilai-nilai dalam Tabel 4.8, jika digambarkan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4: Hasil penjejukan dengan video pengenceran 1:10

Dalam Gambar 4.4 juga terlihat nilai TP yang dominan. Hal ini menunjukkan bahwa dari 5 video masukan dengan pengenceran 1:10, penentuan jalur normal dari program cukup baik. Terlihat nilai FP atau dalam gambar ditunjukkan dengan warna merah muda nilai terbesarnya hanya 2. Nilai FP ini menunjukkan kesalahan penentuan jalur normal dari 5 video masukan yang ada tidak lebih dari 2 jalur. Hasil nilai TN juga terlihat cukup baik ditunjukkan dengan warna biru tua. Nilai TN ini menunjukkan bahwa dalam 5 video masukan penentuan jalur abnormal cukup baik, terlihat dalam grafik hanya dalam video 3 yang nilai TN-nya lebih rendah dari nilai FN. Dalam Video 4 hasil penentuan program sesuai dengan hasil yang diinginkan, atau jalur spermatozoa yang bergerak dalam video berhasil ditentukan oleh program tanpa adanya kesalahan. Terlihat dalam grafik Video 4, tidak adanya warna merah atau tidak ada kesalahan dalam penentuan jalur baik normal ataupun abnormal dan pada Tabel 4.6 terlihat nilai akurasi hasil penjejukan pada Video 4 sebesar 1 atau 100%. Secara keseluruhan rata-rata akurasi dari

hasil pengujian ini cukup bagus, yaitu sebesar 82.83 %.

4.4 Perbandingan Dengan Metode Lain

Selain dilakukan pengujian program dengan masukan beberapa jenis video, pengujian juga dilakukan dengan membandingkan dengan metode penjejakan yang umum digunakan. Metode yang digunakan sebagai pembanding dalam penelitian ini adalah *Kernelized Correlation Filters* (KCF), yang merupakan salah satu metode penjejakan yang ada dalam pustaka OpenCV. KCF merupakan pengembangan dari metode penjejakan yang telah ada yaitu *Boosting* dan *Multiple Instance Learning* (MIL). *Kernelized Correlation Filters* mengacu pada adanya daerah yang tumpang tindih saat menggunakan penjejak (*tracker*) MIL, data yang tumpang tindih menunjukkan bahwa matriks data yang dihasilkan bersifat *circulant*, matriks tersebut dapat didiagonalisasikan dengan *Discrete Fourier Transform* untuk mengurangi penyimpanan dan perhitungan. KCF menggunakan persamaan *linear regression* yang setara dengan *correlation filter* yang digunakan pada beberapa *tracker* lainnya yang memiliki kecepatan cukup baik. Namun kernel regression yang digunakan tidak seperti algoritma kernel lainnya yang memiliki kompleksitas sama persis dengan liniernya. Sehingga membuat penjejakan dengan KCF menjadi lebih cepat dan lebih akurat pada saat yang bersamaan [18]. Pengujian perbandingan dengan metode KCF ini dilihat dari hasil penjejakan banyaknya spermatozoa dalam 10 video masukan. Perbandingan dilihat berapa banyak nilai hasil algoritma *Matching Based* (MB), hasil *Kernelized Correlation Filters* (KCF), dan hasil perhitungan secara manual. Selain itu juga dilihat lama durasi eksekusi proses penjejakan, perbandingan ditampilkan dalam tabel antara durasi eksekusi program dengan MB, KCF dan durasi video masukan. Hasil perbandingan dengan metode KCF ini dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9: Hasil perbandingan penjejakan algoritma *machting based* (MB) dengan *Kernelized Correlation Filters* (KCF)

Video	Terjeaki			Durasi (s)		
	MB	KCF	manual	MB	KCF	video
Video 1	11	6	11	6.13	188.54	6.1
Video 2	13	7	14	9.84	275.69	9.76
Video 3	8	5	11	9.8	405.78	9.76
Video 4	7	4	7	9.42	283.15	9.23
Video 5	13	6	15	10.02	307.32	9.76
Video 6	11	6	14	10.62	218.76	9.73
Video 7	8	4	9	9.8	214.17	9.8
Video 8	12	2	15	9.95	145.17	9.86
Video 9	8	1	8	9.98	140.9	9.73
Video 10	8	3	8	9.77	174.72	9.66

Dari Tabel 4.9 terlihat bahwa jumlah spermatozoa yang terjeaki hasil algoritma *machting based* lebih mendekati dengan hasil penjejakan secara manual, jika dibandingkan dengan hasil metode KCF. Begitu juga durasi eksekusi program, hasil durasi dari penjejakan dengan algoritma *machting based* jauh lebih cepat, bahkan hampir sama dengan durasi video sebenarnya, jika dibandingkan dengan metode KCF.

4.5 Pengujian Aplikasi Lewat Kuesioner

Pengujian aplikasi dengan kuesioner ini bertujuan untuk mengetahui kemudahan dalam penggunaan aplikasi serta mengetahui apakah aplikasi dalam penelitian ini cukup bermanfaat dan membantu, dilihat dari hasil pengisian dari 15 responden pada 13 pertanyaan yang ada dalam kuesioner. Responden memberikan pendapatnya terhadap aplikasi dalam penelitian ini dengan cara memilih salah satu dari skala kesesuaian aplikasi dengan pertanyaan-pertanyaan yang diberikan dalam kuesioner. Pertanyaan-pertanyaan yang ada dalam kuesioner tersaji dalam tabel 4.10.

Tabel 4.10: Pertanyaan dalam kuesioner pengujian aplikasi

NO	PERTANYAAN
1	Apakah warna background dan tulisan yang ditampilkan sudah sesuai?
2	Apakah form dalam aplikasi mudah dimengerti?
3	Apakah data yang ditampilkan membantu menganalisis pergerakan spermatozoa?
4	Apakah ukuran tulisan sudah sesuai?
5	Apakah kualitas video hasil sudah sesuai?
6	Apakah ukuran lingkaran penanda sperma terjejak sudah sesuai?
7	Apakah ukuran jalur yang digambarkan sudah sesuai?
8	Apakah jalur yang digambarkan sudah sesuai?
9	Apakah aplikasi mampu mempercepat proses analisis kualitas sperma?
10	Apakah perhitungan jumlah sperma normal dan abnormal sudah sesuai?
11	Apakah perhitungan kecepatan pergerakan spermatozoa sudah sesuai?
12	Apakah pewarnaan lintasan mempermudah proses analisis?
13	Apakah aplikasi mudah dioperasikan?

Dalam kuesioner diberikan 5 skala penilaian berdasarkan skala Likert yaitu STS (Sangat Tidak Sesuai), TS (Tidak Sesuai), KS (Kurang Sesuai), S (Sesuai), SS (Sangat Sesuai). Skala Likert digunakan untuk mendapatkan kesepakatan dari serangkaian pertanyaan. Responden diminta untuk menunjukkan tingkat kesepakatan mereka terhadap pernyataan yang diberikan melalui skala ordinal [19]. Untuk menghitung hasil akhir pengujian kuesioner diberikan nilai dari tiap skala yang ada dalam kuesioner. Penilaiannya adalah sebagai berikut:

1. Nilai 1 untuk Sangat Tidak Sesuai.
2. Nilai 2 untuk Tidak Sesuai.
3. Nilai 3 untuk Kurang Sesuai.
4. Nilai 4 untuk Sesuai.

5. Nilai 5 untuk Sangat Sesuai.

Dari nilai-nilai yang diberikan kemudian dikalikan dengan jumlah responden yang memilih kemudian semua nilai dari tiap pertanyaan dijumlahkan untuk menghitung jumlah nilai yang diperoleh. Jumlah nilai yang diperoleh digunakan untuk mengetahui hasil akhir atau rata-rata penilaian yang diberikan responden terhadap aplikasi dalam penelitian ini dari 13 pertanyaan yang diberikan. Rumus untuk menghitung hasil akhir kuesioner dapat dilihat dalam Persamaan 4.4.

$$\text{Nilai akhir} = \frac{\text{jumlah nilai}}{Y} \times 100 \quad (4.4)$$

Dimana Y adalah nilai tertinggi dalam skala Likert dikalikan jumlah responden. Dari hasil ini kemudian dilihat dalam interval penskalaan, untuk mengetahui apakah responden banyak yang memberikan respon bagus atau tidak. Interval dibuat dengan cara membagi 100% dengan banyaknya skala penilaian, karena ada 5 skala penilaian maka diperoleh interval sebagai berikut:

1. Nilai 0% 19,99% = Sangat (tidak setuju/buruk/kurang sekali)
2. Nilai 20% 39,99% = Tidak setuju / Kurang baik
3. Nilai 40% 59,99% = Cukup / Netral
4. Nilai 60% 79,99% = (Setuju/Baik/suka)
5. Nilai 80% 100% = Sangat (setuju/Baik/Suka)

Dengan perhitungan diatas, berikut dalam tabel 4.11 merupakan hasil kuesioner beserta dengan hasil perhitungannya.

Tabel 4.11: Hasil perhitungan kuesioner pengujian aplikasi

NO	PERTANYAAN	KETERANGAN					HASIL (%)
		STS	TS	KS	S	SS	
1	Pertanyaan 1	0	0	0	5	10	93.33
2	Pertanyaan 2	0	0	1	5	9	90.67
3	Pertanyaan 3	0	0	0	5	10	93.33
4	Pertanyaan 4	0	0	1	6	8	89.33
5	Pertanyaan 5	0	0	0	6	9	92
6	Pertanyaan 6	0	0	1	5	9	90.67
7	Pertanyaan 7	0	0	0	8	7	89.33
8	Pertanyaan 8	0	0	1	9	5	85.33
9	Pertanyaan 9	0	0	1	8	6	86.67
10	Pertanyaan 10	0	0	1	5	9	90.67
11	Pertanyaan 11	0	0	0	9	6	88
12	Pertanyaan 12	0	0	0	5	10	93.33
13	Pertanyaan 13	0	0	1	8	6	86.67
RATA-RATA HASIL							89.94

Dari tabel diatas terlihat hasil akhir perhitungan kuesioner sebesar 89.94% dan jika dilihat dalam interval hasil penilaian, dapat disimpulkan dari 15 responden menyatakan sangat setuju apabila aplikasi ini mudah digunakan dan bermanfaat.

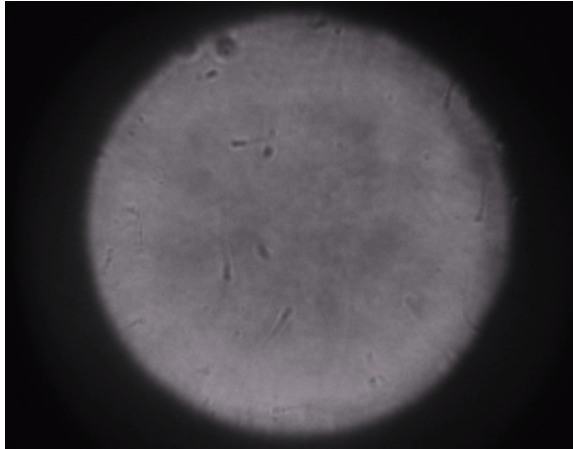
4.6 Penyebab Kesalahan Penjejukan

Dari hasil pengujian menggunakan beberapa video masukan yang berbeda-beda juga memberikan hasil ketepatan yang berbeda-beda pula. Dalam hasil pengujian ada satu jenis video masukan yang hasil penjejakannya salah buruk atau tingkat kesalahannya sangat besar. Ada beberapa hal yang menyebabkan terjadinya kesalahan selama proses penjejukan dengan algoritma *matching-based* dalam penelitian ini, hal-hal tersebut adalah:

4.6.1 Kualitas Video Rendah

Video sebagai masukan dalam program penjejukan menggunakan algoritma *matching-based* ini mempunyai kualitas yang rendah, sehingga sulit untuk membedakan objek yang dianggap spermatozoa dengan latar belakang video. Hal ini mengakibatkan ada-

nya spermatozoa yang tidak terjejak, dikarenakan bentuk atau warnanya yang menyerupai latar belakang. Sehingga hasil keluaran dari program menjadi tidak sesuai dengan hasil penjejakkan secara manual. Ilustrasi rendahnya kualitas video masukan dalam program ini dapat dilihat pada Gambar 4.5.

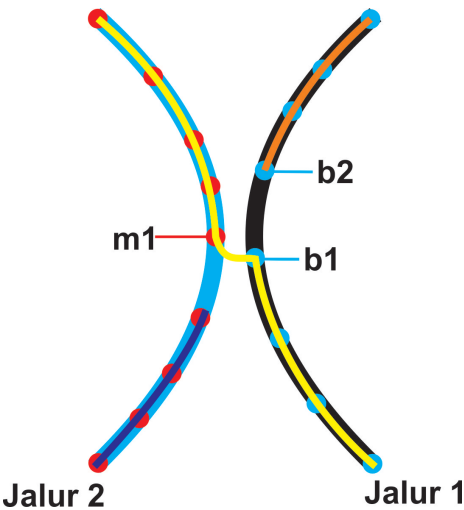


Gambar 4.5: *Frame* cuplikan video masukan dengan kualitas rendah

4.6.2 Jalur Berdekatan

Faktor kedua yang menyebabkan terjadinya kesalahan penjejakkan adalah adanya jalur yang berdekatan. Misalnya pada Gambar 4.6, terlihat ada dua jalur yang berdekatan dengan titik-titik pada jalur merupakan titik yang dilalui spermatozoa dalam setiap frame. Karena algoritma *matching-based* menentukan jalur berdasarkan jarak titik-titik yang dilalui spermatozoa, maka kesalahan dapat terjadi ketika mencari jalur seperti pada Gambar 4.6. Pada jalur satu awalnya jalur sesuai dengan yang diinginkan, namun pada titik b1 terjadi kesalahan penentuan jalur, karena titik berikutnya yang seharusnya adalah b2 jaraknya lebih besar dari m1. Sehingga jalur satu menjadi berbelok dan bergabung dengan kearah jalur 2 karena titik m1 jaraknya lebih dekat, sedangkan sisanya menjadi jalur lain. Jalur yang seharusnya hanya ada 2 seperti pada Gambar 4.6 yang diilustrasikan dengan warna hitam dan biru muda menjadi ada 3

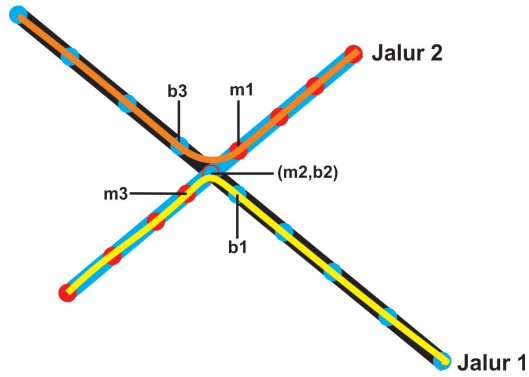
jalur yang berwarna kuning, jingga dan biru tua.



Gambar 4.6: Dua jalur yang berdekatan

4.6.3 Jalur Bersilangan

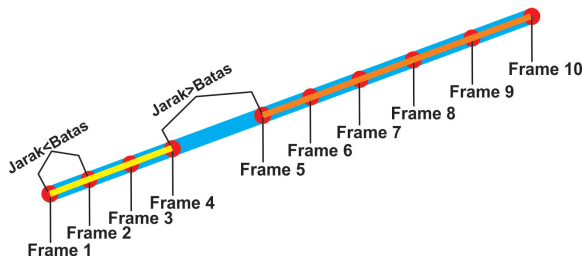
Spermatozoa yang bergerak dalam jalur yang saling bersilangan juga menjadi salah satu penyebab terjadinya kesalahan. Misalnya pada Gambar 4.7, ada dua jalur yang bersilangan dimana titik-titik biru merupakan titik yang dilalui spermatozoa 1 sedang titik-titik merah spermatozoa 2. Saat penentuan jalur menggunakan algoritma *matching-based* dapat terjadi kesalahan, karena adanya persilangan pada titik m2 dan b2 yaitu titik dimana spermatozoa 1 dan spermatozoa 2 berada pada titik yang sama. Karena ada dua titik dengan posisi yang sama sehingga hanya dapat dipilih menjadi titik dalam salah satu jalur, dalam hal ini karena jalur satu ditentukan pertama kali maka titik tersebut termasuk kedalam jalur 1 dan karena jaraknya lebih dekat dengan titik m3 maka jalur menjadi berbelok ke arah m3 yang seharusnya berlanjut ke titik b3. Jalur yang terbentuk adalah jalur dengan warna kuning pada Gambar 4.7, dan titik sisanya menjadi jalur 2 dengan warna jingga. Jumlah jalur yang terbentuk sama 2 jalur namun bentuk jalur menjadi berubah, dan nilai regresi yang didapatkan menjadi tidak sesuai.



Gambar 4.7: Dua jalur yang besilangan

4.6.4 Frame tidak terekam

Pada saat perekaman video dengan menggunakan kamera flea3 ada kemungkinan beberapa *frame* tidak terekam atau terlewat, karena *frame* yang direkam oleh kamera hanya *frame* yang bagus jika menurut kamera *frame* tidak memenuhi syarat maka *frame* akan dilewati. Misalnya merekam dengan kecepatan 30 fps selama 10 detik, seharusnya jumlah *frame* keseluruhan yang terekam sebanyak 300 *frame*. Namun bisa saja hasilnya tidak sampai 300 *frame* karena ada *frame* yang terlewat. Dalam proses perekaman kamera Flea3 hanya merekam *frame* yang dianggap bagus. Dengan adanya *frame* yang terlewat ini, maka terjadi perpindahan posisi spermatozoa dengan jarak yang cukup jauh misalnya pada Gambar 4.8.

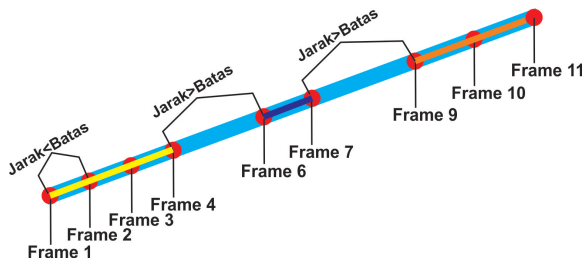


Gambar 4.8: Jalur terputus akibat hilangnya frame

Ilustrasi hilangnya salah satu frame pada saat perekaman pada Gambar 4.8, mengakibatkan jalur menjadi terputus. Seharusnya dari frame 4 ada satu frame lagi sebelum frame 5 yang terdapat posisi spermatozoa lanjutan dari frame 4, namun karena frame tersebut tidak terekam maka spermatozoa terlihat seperti melompat atau bergerak sangat cepat ke frame berikutnya. Jika jarak perpindahan ini lebih dari batas yang ditentukan maka oleh program akan dianggap sebagai jalur yang berbeda, sehingga terbentuk dua jalur dengan warna kuning dan jingga.

4.6.5 Spermatozoa Menyelam

Spermatozoa yang berenang dalam video rekaman tidak selalu berenang dipermukaan, ada kalanya spermatozoa berenang kebawah atau menyelam sehingga tidak terlihat dalam video. Pada saat spermatozoa ini menyelam mengakibatkan spermatozoa tidak dapat terjejak oleh program dan posisi spermatozoa tidak didapatkan. Sama dengan kasus hilangnya frame, jika posisi spermatozoa tidak terjejak maka dari satu frame ke frame berikutnya jalur yang dilalui spermatozoa menjadi terputus, seperti ilustrasi pada Gambar 4.9.

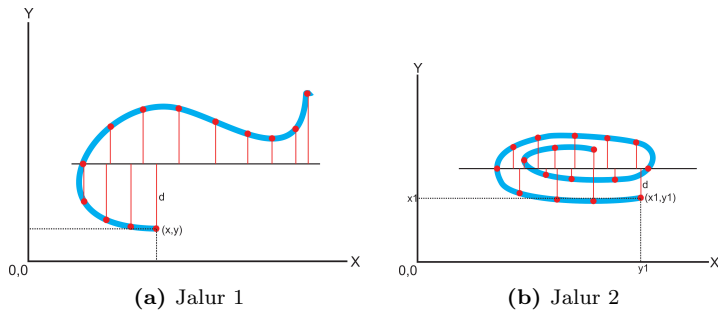


Gambar 4.9: Jalur terputus akibat spermatozoa menyelam

Dalam Gambar 4.9, spermatozoa menyelam saat frame 5 lalu muncul kembali di frame 6 hingga 7 kemudian menyelam lagi saat frame 8 dan pada frame 9 berenang keatas kembali. Jika jarak spermatozoa dari posisi di frame 4 ke frame 6 melebihi batas jarak yang ditentukan maka akan dianggap sebagai jalur yang berberda, begitu juga dari frame 7 ke frame 9. Sehingga yang seharusnya hanya ada satu jalur menjadi tiga jalur seperti pada Gambar 4.9 yang berwarna kuning, biru tua, dan jingga.

4.6.6 Nilai Regresi Linier

Nilai galat (*error*) dari persamaan regresi linier digunakan untuk menentukan normal tidaknya jalur yang dilalui spermatozoa. Dari lintasan yang terbentuk ditarik garis regresi untuk menentukan apakah jalur dianggap sebagai garis lurus atau tidak. Namun ada kalanya nilai galat yang dihasilkan tidak tepat, misalnya pada Gambar 4.10 berikut.



Gambar 4.10: Perbandingan hasil penentuan nilai regresi linier

Jika dilihat secara manual seharusnya jalur 2 dua adalah lintasan abnormal karena jalur yang dilalui spermatozoa berputar dalam satu area, sedangkan jalur 1 masih bisa dikatakan normal karena pergerakan spermatozoa tidak terlalu memutar. Namun jika dihitung dengan nilai regresi linier, jalur 2 memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan jalur 1 sehingga jalur dua dianggap normal. Hal ini disebabkan karena apabila titik-titik dalam jalur 2 dihitung jarak ke garis regresi atau dicari nilai galat terhadap garis regresi memiliki nilai yang lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai galat dari titik-titik pada jalur 1. Sehingga hal ini mengakibatkan kesalahan dalam penentuan normal tidaknya pergerakan spermatozoa.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dalam penelitian ini, telah diimplementasikan serangkaian prosedur untuk melakukan penjejakan dan menentukan abnormalitas pergerakan sel spermatozoa berbasis algoritma *matching-based* serta membuat sistem lengkap terintegrasi mulai dari perekaman data sampai analisis. Penjejakan dan penentuan abnormalitas pergerakan spermatozoa berbasis algoritma *matching-based* diterapkan pada beberapa jenis video dengan perbedaan jumlah *frame per second* dan beberapa video dengan perbedaan pengenceran.

Hasil penjejakan dalam video dengan perbedaan kecepatan perekaman diperoleh rata-rata akurasi terbesar 90% pada video 30fps, sedang video 15 fps rata-rata akurasinya 89%. Pada video dengan perbedaan pengenceran diperoleh rata-rata terbesar 86% pada video pengenceran 1:10, sedang video pengenceran 1:5 rata-rata akurasinya 74%. Perbandingan hasil penjejakan dan kecepatan waktu eksekusi dengan algoritma *matching-based* lebih baik jika dibandingkan dengan metode *Kernelized Correlation Filters*.

Hasil penentuan abnormalitas pergerakan spermatozoa berbasis algoritma *matching-based* pada video dengan perbedaan kecepatan perekaman memberikan nilai yang paling besar pada video dengan kecepatan 30 *frame per second* yaitu nilai rata-rata akurasi 87%, sedangkan penentuan abnormalitas pergerakan spermatozoa dalam video dengan kecepatan 15 *frame per second* hasil nilai rata-rata akurasinya medekati hasil tersebut yaitu sebesar 85%. Hasil penentuan abnormalitas pergerakan spermatozoa pada video dengan perbedaan pengenceran nilai terbesar didapatkan pada video semen dengan pengenceran 1:10 yaitu dengan rata-rata 82% sedang hasil penentuan abnormalitas pergerakan spermatozoa pada video semen dengan pengenceran 1:5 nilai rata-rata akurasinya 66%.

Kesalahan dalam penjejakan spermatozoa berbasis algoritma *matching-based* diakibatkan oleh beberapa faktor, yaitu kualitas video rendah, jalur berdekatan, jalur bersilangan, frame tidak terekam, spermatozoa menyelim, nilai regresi.

5.2 Penelitian Selanjutnya

Dalam penelitian ini hanya digunakan tahap *preprocessing* berupa *image enhancement* dengan metode textitgaussian blurring. Dalam penelitian selanjutnya dapat ditambahkan tahapan *preprocessing* yang lebih banyak untuk mengurangi noise pada video masukan. tahap *preprocessing* berupa *image enhancement* yang dapat ditambahkan, misalnya menambah kecerahan video atau *histogram equalization* pada video masukan sebelum melakukan tahapan *background subtraction*.

Algoritma *matching-based* yang diterapkan dalam penelitian ini masih belum optimal, masih ditemukan beberapa faktor yang tidak dapat diatasi atau menjadi penyebab kesalahan dalam penjejakan dan penentuan abnormalitas pergerakan. Dalam penelitian selanjutnya dapat menerapkan metode lain atau mengoptimalkan algoritma *matching-based* agar dapat mengatasi faktor-faktor yang menjadi penyebab kesalahan penjejakan dan penentuan abnormalitas pergerakan.

DAFTAR PUSTAKA

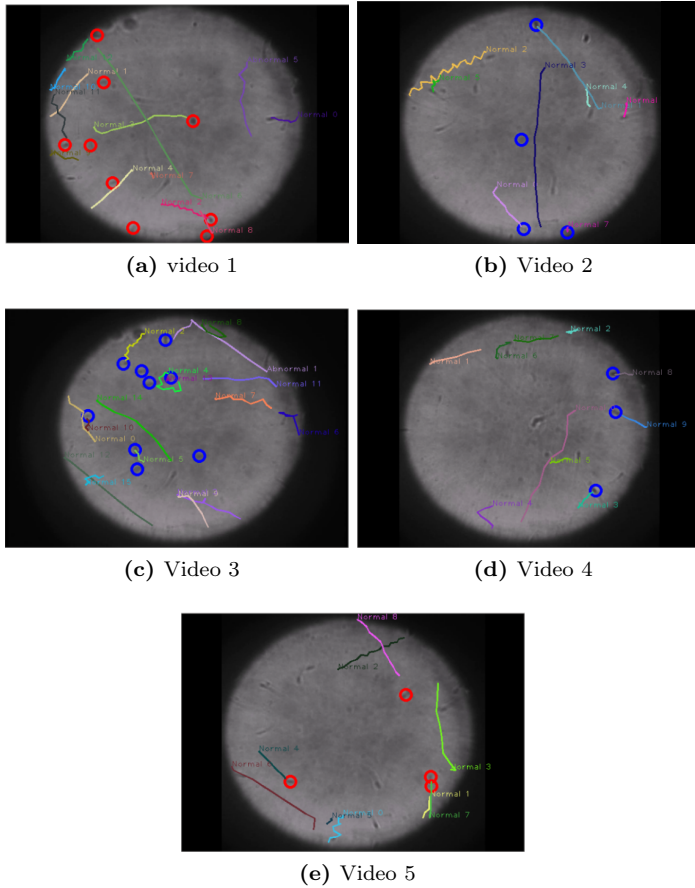
- [1] M. Dhurvey, V.K.Gupta, A. S.P.Nema, M.Shivhare, N.Singh, and V.Shakya, "Modern semen evaluation techniques in domestic animals: A review," DHR International Journal Of Biomedical and Life Sciences (DHR-IJBLS), vol. 3, 2012. (Dikutip pada halaman 1).
- [2] Y. Imani, N. Teyfour, M. R. Ahmadzadeh, and M. Golabbakhsh, "A new method for multiple sperm cells tracking," Journal Medical of Signal and Sensor, Maret 2014. (Dikutip pada halaman 2, 14, 40).
- [3] (Dikutip pada halaman 2).
- [4] M. Khaidir, "Penilaian tingkat fertilitas dan penatalaksananya pada pria," Jurnal Kesehatan Masyarakat, September 2006. (Dikutip pada halaman 5, 7, 8, 9, 10, 11).
- [5] "Infertilitas pada sapi." <http://elisa.ugm.ac.id/user/archive/download/50233/550d1d87f5389ed33b07acf74e7d1629>. Diakses pada : 10 Maret 2017. (Dikutip pada halaman 5, 6).
- [6] "Flea3 usb3 vision cameras." <https://www.ptgrey.com/flea3-usb3-vision-cameras>. Diakses pada : 13 Maret 2017. (Dikutip pada halaman 11).
- [7] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, The Origins of Digital Image Processing. New Jersey: Pearson Prentise Hall, 2008. (Dikutip pada halaman 12).
- [8] D. Kurniawan, "Regresi linear." https://ineddeni.files.wordpress.com/2008/07/regresi_linier.pdf. Diakses pada : 13 Maret 2017. (Dikutip pada halaman 12).
- [9] (Dikutip pada halaman 13).
- [10] B. Yuwono, "Image smoothing menggunakan mean filtering, median filtering, modus filtering dan gaussian filtering," Juli 2010. (Dikutip pada halaman 13, 37).

- [11] M. H. Yap, M. Bister, and H. T. Ewe, "Gaussian blurring-deblurring for improved image compressio," in VIIth Digital Image Computing: Techniques and Applications, (sydney), Juni 2003. (Dikutip pada halaman 21).
- [12] T. Bouwmans, F. E. Baf, and B. Vachon, "Background modeling using mixture of gaussians for foreground detection - a survey," Recent Patents on Computer Science, vol. 1, pp. 219–237, November 2011. (Dikutip pada halaman 23).
- [13] E. Suwono, "Elemen-elemen citra digital." <https://ekosuwono.wordpress.com/2010/01/13/eleman-elemen-citra-digital/>. Diakses pada : 23 Maret 2017. (Dikutip pada halaman 25).
- [14] N. Wakhidah, "Ekstraksi ciri plat nomor mobil menggunakan moment pusat," Jurnal Transformatika, vol. 8, pp. 67–75, Januari 2013. (Dikutip pada halaman 29).
- [15] M. Bourne, "Perpendicular distance from a point to a line." <http://www.intmath.com/plane-analytic-geometry/perpendicular-distance-point-line.php>. Diakses pada : 7 Juni 2017. (Dikutip pada halaman 43).
- [16] T. Chai and R. R. Draxler, "Penilaian tingkat fertilitas dan penatalaksanaannya pada pria," Geoscientific Model Development, June 2014. (Dikutip pada halaman 43).
- [17] M. Bramer, Principle of Data Mining. London: Springer, 2007. (Dikutip pada halaman 48).
- [18] J. F. Henriques, R. Caseiro, P. Martins, and J. Batista, "High-speed tracking with kernelized correlation filters," IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, November 2014. (Dikutip pada halaman 58).
- [19] J. Harry N. Boone and D. A. Boone, "Analyzing likert data," Journal of Extension, April 2012. (Dikutip pada halaman 60).

LAMPIRAN

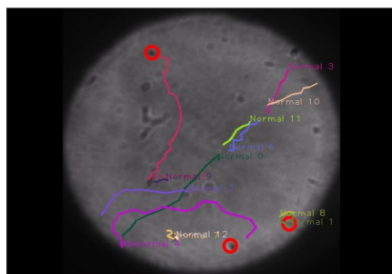
Berikut disajikan hasil program penentuan abnormalitas pergerakan spermatozoa berbasis algoritma *matching-based* yang diterapkan pada beberapa video masukan:

1. Video dengan 15 fps

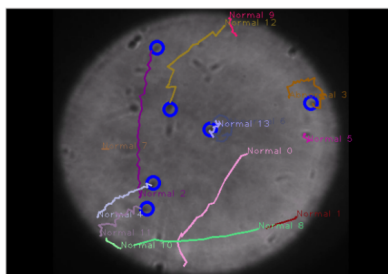


Gambar 1: Hasil penjejakan dan penentuan abnormalitas dengan video 15 fps

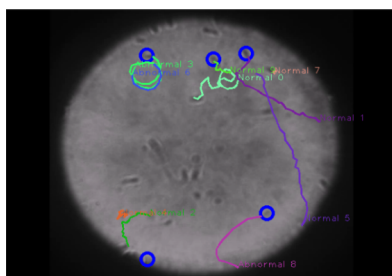
2. Video dengan 30 fps



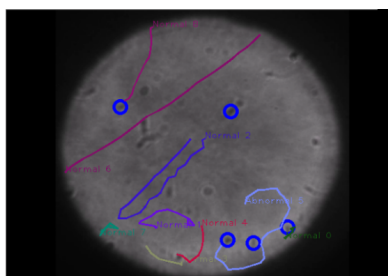
(a) video 1



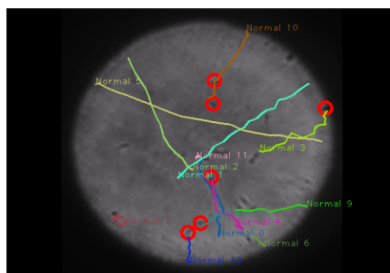
(b) Video 2



(c) Video 3



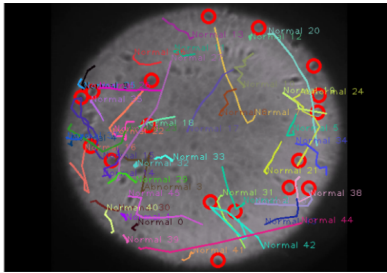
(d) Video 4



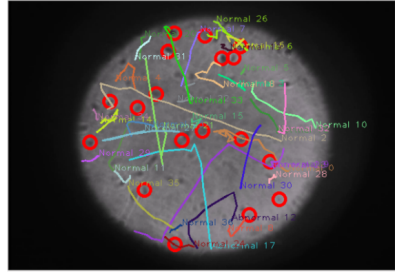
(e) Video 5

Gambar 2: Hasil penjejakan dan penentuan abnormalitas dengan video 30 fps

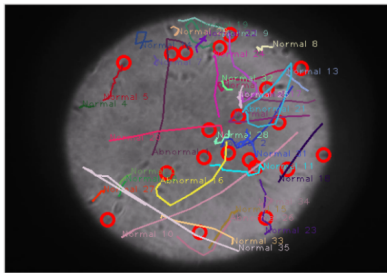
3. Video dengan pengenceran 1:5



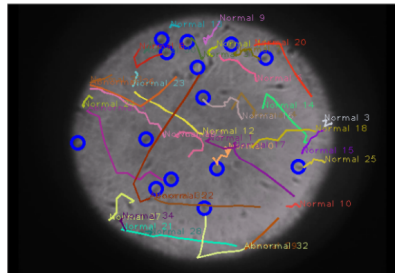
(a) video 1



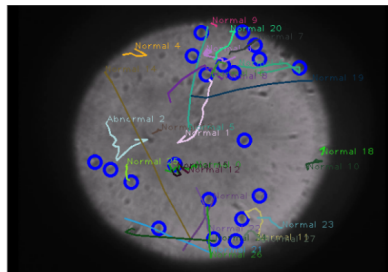
(b) Video 2



(c) Video 3



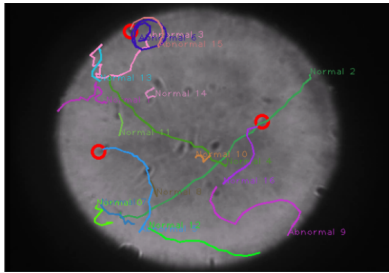
(d) Video 4



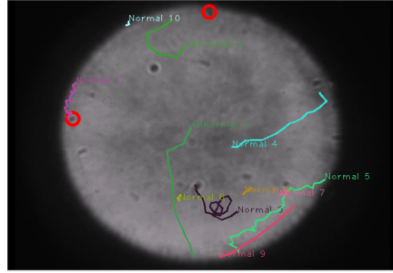
(e) Video 5

Gambar 3: Hasil penjejakn dan penentuan abnormalitas menggunakan video dengan pengenceran 1:5

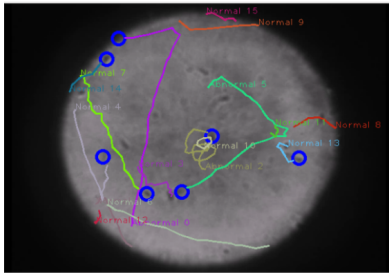
4. Video dengan pengenceran 1:10



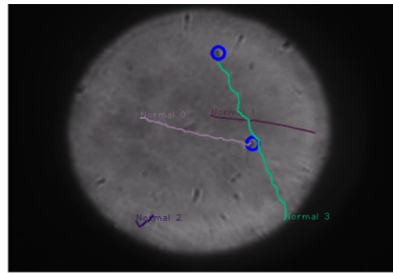
(a) video 1



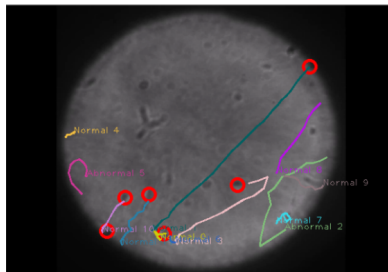
(b) Video 2



(c) Video 3



(d) Video 4



(e) Video 5

Gambar 4: Hasil penjejakan dan penentuan abnormalitas menggunakan video dengan pengenceran 1:10

BIOGRAFI PENULIS



Ardhi Rizal Fathurrahman, lahir pada 15 April 1995 di Klaten, Jawa Tengah. Penulis lulus dari SMP Negeri 4 Klaten pada tahun 2010 kemudian melanjutkan pendidikan ke SMA Negeri 1 Jogonalan hingga akhirnya lulus pada tahun 2013. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan Strata satu ke Departemen Teknik Komputer ITS Surabaya bidang studi Telematika. Selama masa kuliah penulis aktif dalam UKM (Unit Kegiatan Mahasiswa) Karate-Do ITS, baik sebagai anggota ataupun sebagai pengurus. Selama aktif dalam UKM Karate-Do ITS penulis aktif untuk ikut serta dalam beberapa perlombaan karate. Selain itu penulis juga aktif dalam mengikuti ajang perlombaan seperti PKM (Program Kreativitas Mahasiswa), dan pernah menjadi juara PIMNAS 29 yang diadakan di IPB (Institut Pertanian Bogor) pada tahun 2016 bersama tim *Smart Heart Monitor*. Penulis sangat tertarik dengan segala hal yang berhubungan dengan komputer dan pemrograman, dan berencana mendalami cabang ilmu komputer lain selain telematika.

Halaman ini sengaja dikosongkan